



TUGAS AKHIR (RC14 - 1501)

**ALTERNATIF PERKUATAN TIMBUNAN EXISTING  
RAILWAY TRACK STA 141+100 – 141+600  
“BOJONEGORO – SURABAYA PASAR TURI”**

YUDHA PRATAMA NARRA PUTRA  
NRP 3113 100 001

Dosen Pembimbing I  
Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., MT.

Dosen Pembimbing II  
Putu Tantri Kumala Sari, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**TUGAS AKHIR (RC14 - 1501)**

**ALTERNATIF PERKUATAN TIMBUNAN EXISTING  
RAILWAY TRACK STA 141+100 – 141+600  
“BOJONEGORO – SURABAYA PASAR TUR”**

**YUDHA PRATAMA NARRA PUTRA**  
NRP 3113 100 001

Dosen Pembimbing I  
Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing II  
Putu Tantri Kumala Sari, S.T., M.T.

**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**FINAL PROJECT (RC14 - 1501)**

**ALTERNATIVE EXISTING EMBANKMENTS  
STRENGTHENING RAILWAY TRACK STA 141+100  
- STA 141+600 “BOJONEGORO – SURABAYA  
PASAR TURI”**

YUDHA PRATAMA NARRA PUTRA  
NRP 3113 100 001

Academic Supervisor I  
Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T.

Academic Supervisor II  
Putu Tantri Kumala Sari, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

**ALTERNATIF PERKUATAN TIMBUNAN EXISTING  
RAILWAY TRACK STA 141+100 – 141+600  
“BOJONEGORO – SURABAYA PASAR TURI”**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Geoteknik  
Program Studi S-1 Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**YUDHA PRATAMA NARRA PUTRA**  
NRP.3113100001

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Dr. Yudhi Lastiasih, ST., MT ..... (Pembimbing I)
2. Putu Tantri Kumala Sari, S.T., M.T. .... (Pembimbing II)

SURABAYA  
MEI, 2017



**ALTERNATIF PERKUATAN TIMBUNAN EXISTING  
RAILWAY TRACK STA 141+100 – 141+600  
“BOJONEGORO - SURABAYA PASAR TUR”**

**Nama Mahasiswa** : Yudha Pratama Narra Putra  
**NRP** : 3113100001  
**Jurusan** : Teknik Sipil FTSP-ITS  
**Dosen Pembimbing I** : Dr. Yudhi Lastiasih., ST., MT  
**Dosen Pembimbing II** : Putu Tantri KS., ST., MT

**Abstrak**

*Padatnya lalu lintas kereta api di utara pulau jawa menyebabkan Pemerintah memerintahkan PT. KAI untuk membangun jalur rel ganda pada lintas jalan rel antara Bojonegoro sampai dengan Surabaya Pasar Turi yang merupakan bagian dari lintas jalan rel utara Pulau Jawa. Setelah beberapa hari pemasangan perkuatan di samping timbunan rel baru terjadi tanda-tanda pergerakan tanah pada timbunan rel lama yaitu berupa tiang yang miring dan kelongsoran badan timbunan. Oleh karena itu, dilakukan analisis ulang pada titik yang mengalami tanda-tanda kerusakan tanah. Dari hasil analisis tersebut, diketahui bahwa SF (safety factor) yang berada pada beberapa lokasi kurang dari 1, dimana kondisi ini menyebabkan terjadinya kelongsoran. Sedangkan pada lokasi lain nilai SF berada pada kondisi kritis ( $SF = 1$ ). Maka, agar rel kereta api dapat difungsikan kembali, perlu direncanakan perkuatan lereng pada timbunan rel existing di ketiga zona. Mengacu pada peraturan menteri No 60 Tahun 2012, SF yang di gunakan dalam perencanaan di ketiga zona adalah 1,5.*

*Alternatif perkuatan yang direncanakan tidak boleh membongkar rel lama. Maka ditawarkan 4 alternatif yang pertama menggunakan perkuatan dengan cerucuk (micropile), timbunan tambahan (counterweight), dan turap beton (free standing dan berjangkar) di sisi timbunan rel lama. Pada tahap akhir dilakukan*

*analisis perbandingan biaya material antara 4 alternatif untuk system perkuatan timbunan.*

*Dengan melihat kesamaan topografi pemberian perkuatan dibedakan menjadi 3 zona yaitu zona 1 (STA 141+100-141+300), zona 2 (STA 141+300-141+450), dan zona 3 (STA 141+450-600). Maka didapatkan alternatif perkuatan yang pertama untuk zona 1 yaitu menggunakan cerucuk (micro pile) Prestressed Concrete Spun Pile diameter 300 mm dari PT Wijaya Karya Beton, panjang cerucuk 10 m dengan jarak spasi 1m berjumlah 603 buah. Pada zona 2 panjang cerucuk 10 m, jarak spasi 1m dan jumlah 300 buah. Sedangkan pada zona 3 panjang cerucuk 10 m, jarak spasi 1m dan jumlah 300 buah. Alternatif kedua menggunakan counterweight sebanyak 4256 m<sup>3</sup> pada zona 1, sebanyak 2430 m<sup>3</sup> pada zona 2 dan 2162 m<sup>3</sup> pada zona 3. Alternatif perkuatan ketiga menggunakan turap beton freestanding Corrugated Type W600 A1000 sedalam 21m untuk ketiga zona. Alternatif keempat turap berjangkar dengan teknik grouting menggunakan turap beton Corrugated Type W400 A1000 sedalam 10m, diameter baja anker berukuran 6 cm panjang 7.5 m, dan beton grouting fc' 50 Mpa diameter 0.3 m tinggi 1 m.*

*Dilihat dari biaya material yang ekonomis maka dipilih perkuatan cerucuk (micro pile) dengan total biaya material yang dibutuhkan pada zona 1 adalah Rp 223.688.434, untuk zona 2 adalah Rp 111.287.778, dan untuk zona 3 Rp 111.287.778. Jumlah semua biaya material cerucuk adalah Rp 446.263.990*

***Kata kunci : Jalan rel Bojonegoro-Surabaya Pasar Turi, Safety Factor, Cerucuk, Turap Beton, Counterweight***

## **ALTERNATIVE EXISTING EMBANKMENTS RETROFITTING RAILWAY TRACK STA 141+100 – STA 141+600 “BOJONEGORO – SURABAYA PASAR TURU”**

**Name of Student** : Yudha Pratama Narra Putra  
**Student's Number** : 3113100001  
**Department** : Civil Engineering Dept. FTSP ITS  
**Supervisor I** : Dr. Yudhi Lastiasih., ST., MT  
**Supervisor II** : Putu Tantri KS., ST., MT

### **Abstract**

*Because train's traffic jam in the north Java, the government commanded PT. KAI to build a double track railway on the rail road traffic between Bojonegoro to Surabaya Pasar Turi, which is part of the northern rail road traffic Java Island. After several days of reinforcement installation beside new embankment there are signs of land movement on the old rail embankment, such as tilted pile and sliding. Therefore, re-analysis is conducted to the point that shows signs of damaged soil. From the result of analysis, it is known that SF (safety factor) in some locations is less than 1, wherein this condition is causing landslide. While another location SF are in critical condition. Therefore, in order to make the railroad can be used again, slope reinforcement has to be planned on existing rail embankment in those zones. Referring to the ministerial decree No. 60 of 2012, SF used in planning in those zones was 1.5.*

*Offered alternative plan is reinforcement without the demolition of old rail. The first alternative uses micro pile, counterweight, and concrete sheet pile (with anchor and without anchor) on the side of the old rail embankment. In the final stage, comparative analysis between 4 alternative for embankment reinforcement system conducted.*

*By looking at the similarities of topography retrofitting can be divided into three zones: zone 1 (STA 141 + 100-141 + 300), Zone 2 (STA 141 + 300-141 + 450), and zone 3 (STA 141 + 450-*

600). Then obtained the first retrofit alternative that first alternative retrofitting for zone 1 using micro pile Prestressed Concrete Spun Pile diameter 300 mm of PT Wijaya Karya Beton, micro pile length of 10 m with a spacing of 1 m and amounted to 603 units. For zone 2 micro pile length of 10 m, a spacing of 1 m and the amount of 300 pieces. While zone 3 is installed micro pile length 10 m, a spacing of 1 m and the amount of 300 pieces. Second alternative uses as much counterweight 4256 m<sup>3</sup> in zone 1, 2430 m<sup>3</sup> in zone 2 and 2162 in zone 3. The third retrofitting alternative is to use freestanding concrete sheet pile Corrugated Type W600 A1000 depth of 21 m for all zone. The fourth retrofitting alternative is anchored sheet pile using grouting techniques with concrete sheet pile Corrugated Type W400A1000 as deep as 10 m, diameter of steel is 6 cm, length 7.5 m, and grouting concrete fc' 50 Mpa diameter 0.3 m height 1 m.

Micro pile reinforcement is chosen because the cheapest among others. Total cost of material required in zone 1 is IDR 233 688 434, for zone 2 is IDR 111 287 778, and for zone 3 is IDR 111 287 778 million. The sum of all micro plie material cost is IDR 446 263 990.

**Keyword : Railway Track Bojonegoro-Surabaya Pasar Turi, Safety Factor, Sheet Pile, Micro Pile, Counterweight**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT, karena atas berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “ALTERNATIF PERKUATAN TIMBUNAN EXISTING RAILWAY TRACK STA 141+100 – 141+600 “BOJONEGORO – SURABAYA PASAR TURI” “ ini tepat pada waktunya.

Tugas Akhir ini diajukan sebagai persyaratan gelar kesarjanaan jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat berguna bagi semua pihak. Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan, untuk itu segala saran dan masukan tentang penulisan tugas akhir ini sangat diharapkan.

Adapun dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini penulis memperoleh bantuan dan bimbingan serta banyak dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT, atas segala kuasa dan bimbingan-Nya
2. Kedua orangtua Penulis; Bapak Sunaryo dan Ibu Rahayu Margiyaningsih atas dukungan, doa, motivasi, dan semangatnya.
3. Adik Penulis; Naufal Dwinanda Narra Putra atas doa, dukungan, dan semangatnya.
4. Ibu Dr. Yudhi Lastiasih, ST., MT., selaku dosen pembimbing yang telah membimbing baik akademik maupun non-akademik, membimbing segi psikis dan mental.
5. Ibu Putu Tantri Kumala Sari, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing bidang akademik, teknik penulisan serta motivasi untuk menyelesaikan tugas akhir.

6. Bapak Musta'in Arif, ST., MT. selaku dosen konsultasi program untuk penulis yang telah memberikan bimbingan tentang program plaxis.
7. Bapak Dr.techn. Umboro Lasminto, ST., M.Sc. selaku dosen wali penulis yang selalu memberi motivasi dalam mengerjakan tugas akhir ini.
8. Dofran Winner Luhulima, ST., atas bantuan dan bimbingan dalam perhitungan dan pembuatan laporan.
9. Muhammad Ivan Adi Perdana dan Derry Wira M, atas bantuan dan doa dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
10. Bintang Mahardhika, Pratistho Panuntun Unggul Listyono, Teguh Priyatna K, Dwiki Damar S, M. Faisal Haq, Rifqi Erian S sebagai teman Kelompok JIHAD SQUAD atas doa dan semangatnya.
11. Ni Putu Ika P, Mita Octavenia, Nadya P, Rachmatika Nurita dan segenap rekan-rekan BFC (Bintang Fans Club) atas doa dan dukungannya.
12. Teman-teman "Ikan Mass"; Amalia Rizqi S, Hasri Palgunadhi, Dwiyanti Agustina, doa dan semangatnya.
13. Teman-teman S-56, angkatan 2013 Jurusan Teknik Sipil ITS yang telah berjuang bersama penulis selama tiga setengah tahun ini.
14. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat Penulis sebutkan satu per satu.

Walaupun masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan menambah wawasan. Penulis juga memohon maaf atas kekurangan yang ada pada Tugas Akhir ini.

Surabaya, Mei 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
<i>TITLE PAGE</i> .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	iv
<i>ABSTRACT</i> .....	vi
KATA PENGANTAR .....	viii
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	8
1.2 Rumusan Masalah .....	8
1.3 Tujuan .....	9
1.4 Batasan Masalah .....	9
1.5 Manfaat .....	9
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	11
2.1 Timbunan .....	11
2.2 Stabilitas Talud .....	12
2.2.1 Pengertian Kelongsoran .....	12
2.2.2 Pendekatan Korelasi.....	15
2.2.3 Metode Analisis Kestabilan Lereng.....	20
2.3 <i>Software Geostudio</i> .....	22
2.4 <i>Software Plaxis</i> .....	23
2.5 Konsep Perkuatan Lereng dengan Cerucuk .....	24
2.5.1 Perhitungan Faktor Kekakuan .....	28
2.5.2 Perhitungan Kekuatan untuk Satu Cerucuk.....	28
2.5.3 Penentuan Jumlah Cerucuk.....	31
2.6 Konsep Perkuatan Lereng dengan <i>Counterweigh</i> .....	32
2.7 Konsep Perkuatan Lereng dengan Turap .....	33
2.7.1 Tekanan Lateral Aktif .....	34
2.7.2 Perencanaan Turap dengan Angker .....	36
2.8 Pembebanan Kereta Api .....	41

<b>BAB III METODOLOGI .....</b>	<b>45</b>
3.1 Bagan Alir .....	45
3.1.1 Studi Literatur .....	46
3.1.2 Pengumpulan dan Analisi Data.....	47
3.1.3 Perhitungan Perkuatan Tanah Timbunan...	47
3.1.4 Perhitungan Biaya.....	48
3.1.5 Kesimpulan .....	48
3.1.6 Lampiran.....	48
3.2 Penjadwalan .....	49
<b>BAB IV DATA PERENCANAAN DAN ANALISIS ...</b>	<b>51</b>
4.1 Data Tanah .....	51
4.2 Data Material Perkuatan Timbunan .....	52
4.3 Data Rel Kereta Api .....	53
4.4 Layout Topografi dan Potongan .....	59
<b>BAB V PERENCANAAN ALTERNATIF .....</b>	<b>61</b>
5.1 Analisis Kelongsoran Timbunan Rel Awal .....	61
5.2 Perencanaan Perkuatan Timbunan dengan Turap	64
5.2.1 Perencanaan Turap tanpa Angker .....	65
5.2.2 Analisis Stabilitas Perkuatan Turap	
<i>Freestanding</i> .....	82
5.2.3 Perencanaan Turap dengan Angkur .....	83
5.3 Perencanaan Perkuatan dengan <i>Counterweight</i> ...	97
5.3.1 Perencanaan Panjang <i>Counterweight</i> .....	97
5.3.2 Analisis Perkuatan <i>Counterweight</i> .....	98
5.4 Perencanaan Perkuatan dengan Cerucuk.....	99
5.5 Perhitungan Biaya Material .....	106
5.5.1 Perhitungan Biaya Perkuatan Turap.. .....	106
5.5.2 Perhitungan Biaya <i>Counterweight</i> .....	107
5.5.3 Perhitungan Biaya Perkuatan Cerucuk .....	108
<b>BAB VI KESIMPULAN .....</b>	<b>111</b>
6.1 Kesimpulan .....	111
6.2 Saran .....	112
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta Jalur Rel Utara Pulau Jawa dari Jakarta Sampai Surabaya .....	3
Gambar 1.2	Peta Lokasi Proyek .....	3
Gambar 1.3	<i>Layout</i> STA 141+100 s/d 141+600 .....	4
Gambar 1.4	Kemiringan Tiang Listrik pada STA 141+100 s/d 141+600 .....	4
Gambar 1.5	Kelongsoran Tanah Existing pada STA 141+100 s/d 141+600 .....	5
Gambar 1.6	Potongan Melintang STA 141+150 .....	6
Gambar 1.7	Analisis Stabilitas Tanah Timbunan Existing STA 141+150.....	7
Gambar 2.1	Ilustrasi Penimbunan .....	11
Gambar 2.2	Kelongsoran Talud.....	12
Gambar 2.3	Bidang Longsor Berpotongan dengan Kaki Talud .....	13
Gambar 2.4	Keruntuhan pada Talud .....	14
Gambar 2.5	Klasifikasi Tanah Berdasarkan <i>Cone Bearing</i> (qn) .....	16
Gambar 2.6	Korelasi nilai N-SPT dengan Nilai Cu ..	17
Gambar 2.7	Gaya yang Bekerja pada Lereng dengan Metode Irisan .....	21
Gambar 2.8	Prosedur Desain untuk Tiang yang Menerima Beban Lateral .....	25
Gambar 2.9	Asumsi Kedudukan Cerucuk sebagai Penahan Terhadap Keruntuhan Geser di Lapangan .....	26
Gambar 2.10	Asumsi Tiang Pancang Kelompok Menahan Gaya Lateral yang Digunakan sebagai Dasar Mencari Tahanan Geser Cerucuk.....	26
Gambar 2.11	Sketsa Peningkatan Kekuatan Geser Tanah Akibat Pemasangan Cerucuk .....	27
Gambar 2.12	Harga $f$ dari Berbagai Jenis Tanah .....	28

Gambar 2.13	Prosedur Desain untuk Tiang yang Menerima Beban Lateral .....	29
Gambar 2.14	Prosedur Desain Jumlah Cerucuk.....	32
Gambar 2.15	Prinsip <i>Foundation Stability</i> .....	33
Gambar 2.16	Gaya-Gaya pada Diagram Tekanan Tanah Horisontal Beban Terpusat .....	35
Gambar 2.17	Gaya-Gaya pada Diagram Tekanan Tanah Horizontal .....	36
Gambar 2.18	Contoh Penjangkaran .....	37
Gambar 2.19	Penentuan Lokasi Angker .....	38
Gambar 2.20	Skema Pembebanan Kereta Api 2 Lokomotif .....	42
Gambar 2.21	Skema Pembebanan Kereta Api dengan Kereta Gerobak .....	42
Gambar 2.22	Skema Pembebanan Kereta Api 6 atau 7 Gandar.....	42
Gambar 2.23	Skema Pembebanan Kereta Api 5 Gandar .....	43
Gambar 2.24	Skema Pembebanan Kereta Api 3 Gandar .....	43
Gambar 2.25	Skema Pembebanan Kereta Api 2 Gandar .....	43
Gambar 2.26	Skema Pembebanan Kereta Api 1 Gandar .....	43
Gambar 3.1	Diagram Alir Tugas Akhir .....	46
Gambar 3.2	Layout STA 141+100 – 141+600 .....	48
Gambar 3.3	Sondir STA 141+100 – 141+600 .....	49
Gambar 4.1	Skema Pembebanan Kereta Api dengan Gandar Lebih dari 8 .....	54
Gambar 4.2	Pembebanan Kereta Api.....	55
Gambar 4.3	Desain Penampang Melintang Jalan Rel pada Bagian Lurus .....	58
Gambar 4.4	Desain Penampang Melintang Jalan Rel pada Bagian Miring .....	59

Gambar 5.1	Layout STA 141+150 (Zona 1) .....	62
Gambar 5.2	Layout STA 141+350 (Zona 2) .....	62
Gambar 5.3	Layout STA 141+600 (Zona 3) .....	63
Gambar 5.4	Geometri Timbunan dan Letak Turap STA 141+150 .....	65
Gambar 5.5	Geometri Timbunan dan Letak Turap STA 141+350 .....	66
Gambar 5.6	Geometri Timbunan dan Letak Turap STA 141+600 .....	66
Gambar 5.7	Sketsa Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Tanpa Angker Akibat Beban Timbunan dan Bantalan Rel .....	71
Gambar 5.8	Sketsa Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Tanpa Angker Akibat Beban Kereta Api STA 141+150 .....	72
Gambar 5.9	Sketsa Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Tanpa Angker Akibat Beban Kereta Api STA 141+350 .....	72
Gambar 5.10	Sketsa Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Tanpa Angker Akibat Beban Kereta Api STA 141+600 .....	73
Gambar 5.11	Grafik Konversi antara Jumlah Asumsi Turap dan Jumlah Hitung Turap untuk Beberapa SF STA 141+150 .....	80
Gambar 5.12	Grafik Konversi antara Jumlah Asumsi Turap dan Jumlah Hitung Turap untuk Beberapa SF STA 141+350 .....	81
Gambar 5.13	Grafik Konversi antara Jumlah Asumsi Turap dan Jumlah Hitung Turap untuk Beberapa SF STA 141+600 .....	81
Gambar 5.14	Sketsa Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Dengan Angker Akibat Beban Timbunan dan Bantalan Rel .....	86

Gambar 5.15	Sketsa Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Dengan Angker Akibat Beban Kereta Api STA 141+150 .....	87
Gambar 5.16	Sketsa Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Dengan Angker Akibat Beban Kereta Api STA 141+350 .....	87
Gambar 5.17	Sketsa Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Dengan Angker Akibat Beban Kereta Api STA 141+600 .....	88
Gambar 5.18	Geometri Timbunan dan Cerucuk STA 141+150 .....	99
Gambar 5.19	Geometri Timbunan dan Cerucuk STA 141+350 .....	100
Gambar 5.20	Geometri Timbunan dan Cerucuk STA 141+6-0 .....	100
Gambar 5.21	Grafik Konversi antara Jumlah Asumsi Cerucuk dan Jumlah Hitung Cerucuk untuk Beberapa SF STA 141+150.....	104
Gambar 5.22	Grafik Konversi antara Jumlah Asumsi Cerucuk dan Jumlah Hitung Cerucuk untuk Beberapa SF STA 141+150.....	105
Gambar 5.23	Grafik Konversi antara Jumlah Asumsi Cerucuk dan Jumlah Hitung Cerucuk untuk Beberapa SF STA 141+150.....	105

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Konsistensi Tanah (untuk Tanah Dominan Lanau dan Lempung) .....	16
Tabel 2.2	Korelasi berdasarkan Konsistensi Tanah (untuk Tanah Dominan Lanau dan Lempung) ...	17
Tabel 2.3	Korelasi Jenis Tanah dengan Modulus Young dan Poisson Ratio .....	17
Tabel 2.4	Korelasi Jenis Tanah ke <i>Spesific Gravity</i> .....	18
Tabel 2.5	Korelasi Jenis Tanah ke <i>Dry Density</i> .....	18
Tabel 2.6	Korelasi Jenis Tanah Kerikil ke Sudut Geser .....	19
Tabel 2.7	Korelasi Jenis Tanah Kerikil ke <i>Dry and Sat Density</i> .....	19
Tabel 2.8	Korelasi Jenis Tanah Kerikil dengan Modulus Young dan Poisson Ratio .....	20
Tabel 2.9	Model Persamaan Cerucuk untuk Masing-Masing Variasi Perlakuan.....	30
Tabel 2.10	Perkiraan Kasar dari Perlawanan Geser yang Bekerja pada Permukaan Jangkar .....	40
Tabel 2.11	Pembebanan Kereta Api dengna Lebar Gandar 1067mm .....	41
Tabel 2.12	Pembebanan Kereta Api dengna Lebar Gandar 1435mm .....	41
Tabel 3.1	Rencanan Jadwal Pengerjaan Tugas Akhir .....	49
Tabel 4.1	Rekapitulasi Data Tanah .....	52
Tabel 4.2	Skema Pembebanan Kereta Api .....	54
Tabel 4.3	Parameter Tanah untuk Sub-Ballast ....	55
Tabel 4.4	Parameter Tanah untuk Ballast .....	57
Tabel 4.5	Parameter Tanah untuk Timbunan Existing .....	57
Tabel 4.6	Kriteria Kelas Jalan Rel I Lebar Jalan Rel 1067mm .....	58

Tabel 5.1	Nilai <i>Safety Factor</i> pada STA yang Ditinjau Sebelum Pembangunan Timbunan Double Track ..... 63
Tabel 5.2	Perhitungan Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Tanpa Angker dan Persamaan Momen Aktif dan Pasif Akibat Beban Timbunan dan Bantalan Rel STA 141+150 ..... 74
Tabel 5.3	Perhitungan Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Tanpa Angker dan Persamaan Momen Aktif dan Pasif Akibat Beban Timbunan dan Bantalan Rel STA 141+350 ..... 74
Tabel 5.4	Perhitungan Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Tanpa Angker dan Persamaan Momen Aktif dan Pasif Akibat Beban Timbunan dan Bantalan Rel STA 141+600 ..... 75
Tabel 5.5	Perhitungan Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Tanpa Angker dan Persamaan Momen Aktif dan Pasif Akibat Beban Kereta Api STA 141+150 ..... 75
Tabel 5.6	Perhitungan Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Tanpa Angker dan Persamaan Momen Aktif dan Pasif Akibat Beban Kereta Api STA 141+350 ..... 76
Tabel 5.7	Perhitungan Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Tanpa Angker dan Persamaan Momen Aktif dan Pasif Akibat Beban Kereta Api STA 141+600 ..... 76
Tabel 5.8	Perhitungan Persamaan Momen $\Sigma M=0$ pada Turap Tanpa Angker ..... 77
Tabel 5.9	Rekapitulasi Perhitungan Turap dengan Metode Cerucuk STA 141+150 ..... 79
Tabel 5.10	Rekapitulasi Perhitungan Turap dengan Metode Cerucuk STA 141+350 ..... 79
Tabel 5.11	Rekapitulasi Perhitungan Turap dengan Metode Cerucuk STA 141+600 ..... 80

Tabel 5.12	Panjang Turap dengan Metode Cerucuk .81
Tabel 5.13	Rekapitulasi <i>Safety Factor</i> Turap <i>Free standing</i> ..... 82
Tabel 5.14	Rekap <i>Safety Factor</i> Perkuatan Kombinasi ..... 82
Tabel 5.15	Rekapitulasi SF Turap Rangkap ..... 83
Tabel 5.16	Perhitungan Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Dengan Angker dan Persamaan Momen Aktif dan Pasif Akibat Beban Timbunan dan Bantalan Rel STA 141+150 ..... 89
Tabel 5.17	Perhitungan Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Dengan Angker dan Persamaan Momen Aktif dan Pasif Akibat Beban Timbunan dan Bantalan Rel STA 141+350 ..... 89
Tabel 5.18	Perhitungan Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Dengan Angker dan Persamaan Momen Aktif dan Pasif Akibat Beban Timbunan dan Bantalan Rel STA 141+600 ..... 90
Tabel 5.19	Perhitungan Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Dengan Angker dan Persamaan Momen Aktif dan Pasif Akibat Beban Kereta Api STA 141+150 ..... 90
Tabel 5.20	Perhitungan Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Dengan Angker dan Persamaan Momen Aktif dan Pasif Akibat Beban Kereta Api STA 141+350 ..... 91
Tabel 5.21	Perhitungan Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Dengan Angker dan Persamaan Momen Aktif dan Pasif Akibat Beban Kereta Api STA 141+600 ..... 91
Tabel 5.22	Perhitungan Persamaan Momen $\Sigma M=0$ pada Turap Dengan Angker ..... 92
Tabel 5.23	Rekapitulasi Dimensi Angker dan Beton Grouting STA 141+150 ..... 94

Tabel 5.24	Rekapitulasi Dimensi Angker dan Beton Grouting STA 141+350 .....	94
Tabel 5.25	Rekapitulasi Dimensi Angker dan Beton Grouting STA 141+600 .....	95
Tabel 5.26	Rekapitulasi Dimensi Angker dan Beton Grouting STA 141+150 Setelah Perubahan d0 .....	95
Tabel 5.27	Rekapitulasi Dimensi Angker dan Beton Grouting STA 141+350 Setelah Perubahan d0 .....	96
Tabel 5.28	Rekapitulasi Dimensi Angker dan Beton Grouting STA 141+600 Setelah Perubahan d0 .....	96
Tabel 5.29	Rekapitulasi Perkuatan Turap Berangker .....	97
Tabel 5.30	Rekapitulasi Lebar <i>Counterweight</i> yang Dibutuhkan.....	98
Tabel 5.31	Rekapitulasi Percobaan Dimensi <i>Counterweight</i> .....	98
Tabel 5.32	Variasi SF, Variasi Jari-Jari Kelongsoran dan Mr .....	103
Tabel 5.33	Rekapitulasi Perhitungan Cerucuk STA 141+150 .....	103
Tabel 5.34	Rekapitulasi Perhitungan Cerucuk STA 141+350 .....	103
Tabel 5.35	Rekapitulasi Perhitungan Cerucuk STA 141+600 .....	104
Tabel 5.36	Rekapitulasi Panjang dan Jumlah Cerucuk yang Digunakan untuk Perkuatan .....	106
Tabel 5.37	Rekapitulasi Biaya Perkuatan Turap <i>Free Standing</i> .....	107
Tabel 5.38	Rekapitulasi Biaya Perkuatan Turap dengan Angker .....	107
Tabel 5.39	Rekapitulasi Biaya Perkuatan <i>Counterweight</i> .....	108



Tabel 5.40	Rekapitulasi Biaya Perkuatan Tanah dengan Cerucuk .....	108
Tabel 5.41	Rekapitulasi Biaya Alternatif Perkuatan	108

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

PT Kereta Api Indonesia (PT KAI) adalah Badan Usaha Milik Negara Indonesia (BUMN) yang menyelenggarakan jasa angkutan kereta api. Layanan PT Kereta Api Indonesia (Persero) meliputi angkutan penumpang dan barang. PT KAI mengoperasikan kereta api di wilayah provinsi Aceh, Sumatera Utara, Sumatera Barat, Sumatera Selatan Lampung, serta semua provinsi di Pulau Jawa kecuali Jabodetabek. Pada akhir Maret 2007, DPR mengesahkan revisi Undang-Undang Nomor 13 Tahun 1992 yang menegaskan bahwa investor swasta maupun pemerintah daerah diberi kesempatan untuk mengelola jasa angkutan kereta api di Indonesia. Pada tanggal 12 Agustus 2008 PT KAI melakukan pemisahan Divisi Angkutan Perkotaan Jabodetabek menjadi PT KAI Commuter Jabodetabek (KCJ) untuk mengelola kereta api pengalju di daerah Jakarta dan sekitarnya. Maka wilayah pengoperasian PT KAI pusat menjadi provinsi Aceh, Sumatera Utara, Sumatera Selatan, Lampung, Banten, Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur. Salah satu jalur padat yang dikelola oleh PT KAI adalah jalur utara Pulau Jawa. Gambar 1.1 menunjukan peta lokasi jalur utara Pulau Jawa yang akan dibangun jalur ganda.

Pada tahun 2011 Wakil Presiden Boediono meminta menteri koordinator perekonomian untuk membangun jalur rel ganda pada lintas utara Pulau Jawa dikarenakan padatnya lalu lintas kereta api pada jalur utara Pulau Jawa. Setelah di konsultasikan dengan DPR RI, maka pada tanggal 26 September 2011 SK Menko Perekonomian dikeluarkan. Surat Keputusan itu berisi perintah pada PT KAI untuk membangun jalur rel ganda pada lintas utara pulau jawa yang meliputi Jakarta – Cikampek – Cirebon – Tegal – Pekalongan – Semarang – Gambringan – Bojonegoro – Surabaya. Jalur sepanjang 691,5 km rencananya akan di bangun oleh PT KAI bekerja sama dengan 9 instansi lain

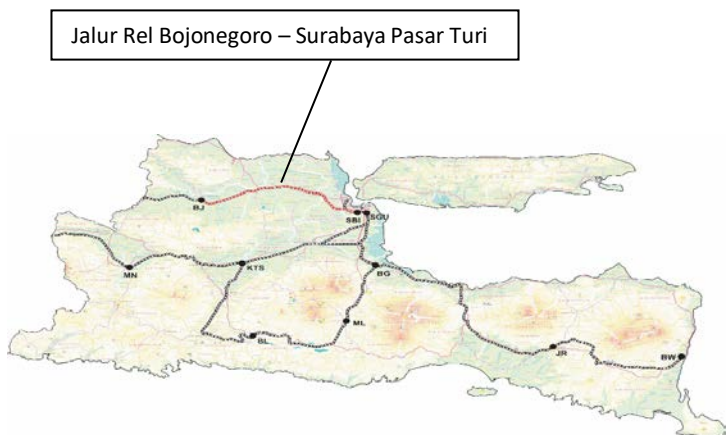
yaitu Menhub, MenPU, Bappenas, Menkeu, MenBUMN, BPN, Pemprov Jabar, Pemprov Jateng, dan Pemprov Jatim.

Pada lintas jalan rel antara Bojonegoro sampai dengan Surabaya Pasar Turi yang merupakan bagian jalan rel dari lintas utara Pulau Jawa juga dilaksanakan pembangunan jalur rel ganda. Jalur rel baru direncanakan dibangun diatas timbunan dan berada di sisi rel lama. Setelah dilakukan penimbunan jalur baru di sebelah jalur lama, tidak terjadi permasalahan pada mulanya. Dilanjutkan dengan pemasangan rel dan dilakukan pemasangan perkuatan yaitu dengan pemasangan turap beton (*sheet pile*) yang di letakan di samping timbunan rel baru. Setelah beberapa hari pemasangan perkuatan turap beton tersebut terjadi pergerakan tanah pada tanah timbunan rel lama. Gambar 1.2 menunjukkan peta lokasi rel kereta api Bojonegoro sampai dengan Surabaya Pasar Turi.

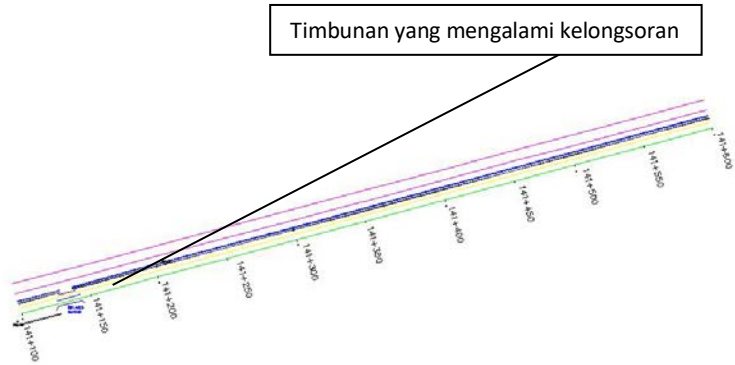
Pada timbunan rel lama yang selama ini beroperasi terjadi beberapa masalah yang terkait dengan pergerakan tanah. Salah satu tanda-tanda yang menunjukkan ada pergerakan tanah adalah tiang listrik yang terletak di sebelah rel lama yang mendadak miring dan terjadi kelongsoran pada beberapa lokasi. Karena adanya masalah pada timbunan rel lama maka PT KAI sebagai pengelola kereta api pada jalur ini yang berencana mengoperasikan 2 jalur secara bersamaan terpaksa tidak dapat dilakukan sehingga PT KAI mengalami kerugian yang tidak sedikit. Jalur dari Jakarta sampai Bojonegoro dapat dilayani dengan cepat dengan 2 jalur sedangkan dari Bojonegoro sampai Surabaya hanya 1 jalur. Maka terjadi keterlambatan dan penumpukan penumpang pada jalur ini. Lokasi jalur yang dikelola oleh PT KAI ini mengalami kelongsoran tanah timbunan pada STA 141+100 sampai dengan 141+600. Gambar 1.3 mengalami indikasi pergerakan tanah. Indikasi pergerakan tanah pada lokasi tersebut ditunjukan dengan kemiringan tiang listrik seperti pada Gambar 1.4 dan kelongsoran tanah timbunan seperti pada Gambar 1.5 menunjukkan tanda-tanda pergerakan tanah yang ditunjukan dengan kelongsoran tanah.



Gambar 1.1 Peta Jalur Rel Utara Pulau Jawa dari Jakarta Sampai Surabaya



Gambar 1.2 Peta Lokasi Proyek



Gambar 1.3 *Layout* STA 141+100 s/d 141+600



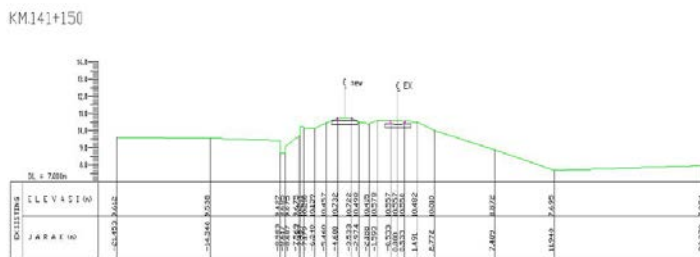
Gambar 1.4 Kemiringan Tiang Listrik pada STA 141+100 s/d 141+600



Gambar 1.5 Kelongsoran Tanah Existing pada STA 141+100  
s/d 141+600

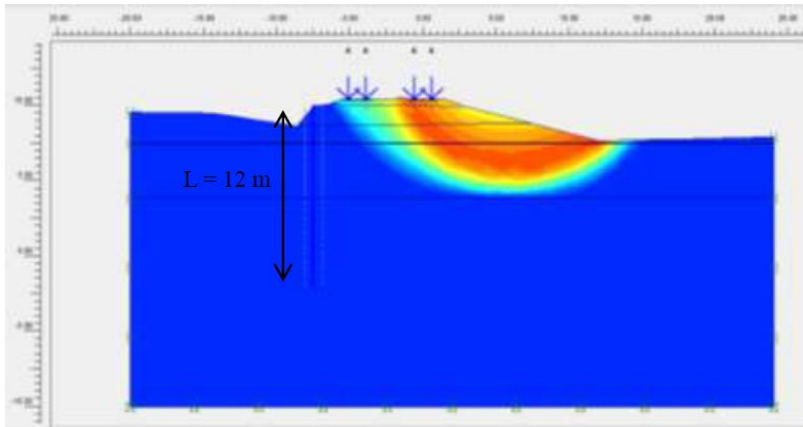
Berdasarkan pengamatan langsung yang dilakukan di lapangan, menunjukkan bahwa pada timbunan rel lama mengalami permasalahan terkait dengan kondisi tanah dasar, maka pihak PT KAI meminta untuk melakukan uji tanah asli di bawah timbunan tersebut. Hasil uji lapisan tanah dasar dapat dilihat pada data N-SPT dan hasil laboratorium berupa tanah lunak sedalam 5 meter pada tanah asli di atas timbunan rel lama. Pada data tanah tersebut menunjukkan jenis tanah yaitu *Clayey Silt* yang termasuk dalam golongan tanah *soft* dengan nilai rata-rata N-SPT 3. Selain uji lapangan seperti SPT dan Sondir, pihak PT KAI meminta untuk dilakukan analisis stabilitas lereng (*slope stability analysis*) kepada pihak perencana.

Setelah dilakukan analisis, stabilitas lereng pada tanah timbunan rel lama dengan menggunakan program bantu *PLAXIS* yang berbasis finite element berdasarkan geometri seperti pada Gambar 1.6, didapatkan bahwa faktor keamanan (*safety factor, SF*) yang didapatkan dari potongan STA 141-150 sebesar 1,1 (Gambar 1.6). Sedangkan pada STA yang lain kemungkinan besar juga terdapat SF yang kurang dari 1,0 karena mengalami kelongsoran. Kondisi diatas jelas menunjukkan bahwa faktor kemanan sangatlah kritis. Bila kondisi ini dibiarkan dikhawatirkan rel yang berada di atasnya akan mengalami kerusakan yang cukup parah seperti pada Gambar 1.4 dan Gambar 1.5. Selain rel yang akan mengalami kerusakan, kondisi ini juga pasti akan sangat membahayakan untuk kereta api yang akan melintas apabila jalur ini dipaksakan untuk dioperasikan. Dari pihak PT KAI selaku *owner* meminta SF 1,5 (berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM. 60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api). Angka tersebut cukup tinggi dari faktor kemanan yang sesungguhnya. Sedangkan sejauh ini dari pihak PT KAI sendiri belum memberikan perkuatan apapun pada tanah timbunan rel lama tersebut.



Gambar 1.6 Potongan Melintang STA 141+150





Gambar 1.7 Analisis Stabilitas Tanah Timbunan Existing STA 141+150

Dari kondisi seperti pada Gambar 1.7 di atas maka tanah timbunan rel lama perlu diberi perkuatan tanah untuk mencegah terjadinya kelongsoran yang akan timbul dan menjamin kondisi badan jalan rel yang baik selama dilewati kereta api. Terdapat banyak alternatif perkuatan tanah timbunan seperti *terramesh*, *geotextile*, *counterweight*, turap beton, dan cerucuk. Dalam hal ini perkuatan dengan menggunakan *terramesh* dan *geotextile* tidak dapat di aplikasikan karena harus membongkar rel yang sudah ada untuk pemasangan perkuatan tersebut. Sedangkan dari pihak PT. KAI menghendaki tidak adanya pembongkaran rel lama. Maka dari itu perkuatan yang dapat di gunakan adalah perkuatan *counterweight*, turap beton, dan cerucuk.

Perkuatan *counterweight* adalah perkuatan dengan memberikan timbunan di samping tanah yang akan diperbaiki. *Counterweight* akan berfungsi sebagai penahan longsor terhadap tanah yang lemah. Menurut (Sebayang dkk, 2008) dalam jurnalnya Perencanaan Stabilitas Lereng dengan *Sheet Pile* dan Perkuatan Geogrid menggunakan Metode Elemen Hingga, penambahan *counterweight* dibelakang *sheet pile* dapat meningkatkan faktor keamanan yang cukup signifikan. Perkuatan dengan turap adalah

konstruksi yang dapat menahan tekanan tanah di sekelilingnya, mencegah terjadinya kelongsoran dan biasanya terdiri dari dinding turap dan penyangganya, konstruksi dinding turap terdiri dari beberapa lembaran turap yang dipancangkan ke dalam tanah, serta membentuk formasi dinding menerus vertikal yang berguna untuk menahan timbunan tanah atau tanah yang berlereng. (Sri Respati, 1995). Sedangkan perkuatan cerucuk atau (*micro pile*) adalah perkuatan yang dianggap sebagai kelompok tiang dengan “*rigid cap*” di muka tanah yang menerima gaya horisontal. Gaya horisontal tersebut merupakan tegangan geser yang terjadi di sepanjang bidang gelincir (Mochtar, 2000). Dengan 3 alternatif perkuatan tanah tersebut perencana dapat memperkuat timbunan tanpa harus membongkar rel kereta api di atasnya.

Tugas akhir ini membahas tentang bagaimana perencanaan dinding penahan tanah, cerucuk, dan *counterweight* untuk perkuatan tanah timbunan rel Bojonegoro-Pasar Turi STA 141-100 s/d 141-600 serta memilih perencanaan terbaik dari segi biaya.

## 1.2 Rumusan Masalah

Secara umum berdasarkan latar belakang diatas, terdapat beberapa masalah yang harus dibahas :

1. Bagaimana kondisi stabilitas timbunan rel lama?
2. Berapa jumlah dan panjang cerucuk yang paling efektif?
3. Berapa dimensi timbunan *counterweight* yang paling efektif?
4. Berapa panjang turap beton *freestanding* dan turap berjangkar yang paling efektif?
5. Metode apa yang terbaik yang akan digunakan untuk memperbaiki tanah timbunan rel lama?

### **1.3 Tujuan**

Adapun tujuan dari Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui perencanaan terbaik yang akan digunakan dalam memperbaiki tanah timbunan rel eksisting.

### **1.4 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Alternatif perkuatan lereng hanya menggunakan cerucuk, *counterweight*, dan Turap Beton.
2. Perkuatan lereng yang direncanakan hanya pada sta. 141+100 s/d 141+600.
3. Tidak membahas perhitungan bangunan rel.
4. Tidak membahas drainase rel.
5. Data yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari laboratorium.

### **1.5 Manfaat**

Adapun manfaat dari Tugas Akhir ini diharapkan agar hasilnya dapat dijadikan acuan untuk pelaksanaan pekerjaan perbaikan tanah jalur existing lintas Bojonegoro – Surabaya Pasar Turi.

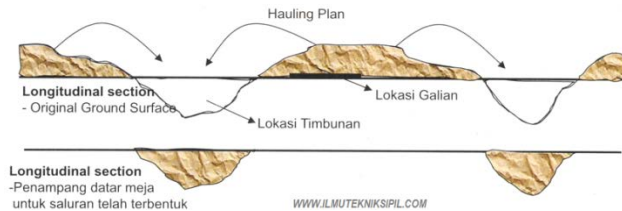
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Timbunan

Timbunan merupakan bangunan sederhana yang berupa tumpukan tanah yang berfungsi untuk penyesuaian elevasi bangunan lainya seperti rel, bangunan gedung, jalan raya, fasilitas umum, dan lain-lain. Timbunan juga dapat berfungsi sebagai pengganti material existing *subgrade* yang tidak memenuhi syarat. Gambar 2.1 merupakan ilustrasi penimbunan pada suatu bukit, penimbunan membutuhkan volume tanah dari tempat lain untuk penyesuaian kontur. Bentuk yang digunakan untuk penyesuaian suatu kontur biasanya berbentuk trapesium dengan sisi bagian atas disesuaikan dengan lebar jalan atau rel yang ada diatasnya. Kemiringan *slope* yang ada di timbunan juga direncanakan agar timbunan tersebut stabil dan tidak mengalami kelongsoran. Kemiringan *slope* direncanakan biasanya lebih dari 1:1,5 agar tidak terlalu curam, atau bisa juga mengikuti lahan yang ada namun ditambah dengan perkuatan untuk mencegah kelongsoran.



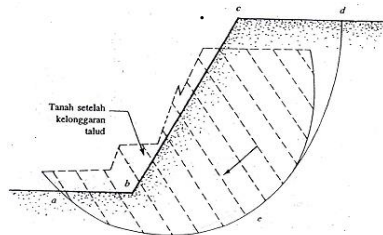
**Gambar 2.1** Ilustrasi Penimbunan

## 2.2 Stabilitas Talud (Stabilitas Lereng)

### 2.2.1 Pengertian Kelongsoran

Suatu tempat yang memiliki dua permukaan tanah yang memiliki ketinggian yang berbeda dan dihubungkan oleh suatu permukaan disebut lereng (Vidyanti,2012). Dalam proses pembentukan lereng ini dapat terbentuk secara buatan ataupun alamiah. Lereng buatan adalah lereng yang dibuat oleh manusia karena suatu kebutuhan, baik yang dibuat dalam tanah asli melalui pemotongan tanah seperti untuk jalan raya, jalan rel, saluran air, ataupun lereng yang dibuat dari tanah yang dipadatkan seperti tanggul. Sedangkan lereng yang terbentuk secara alamiah seperti pada suatu bukit atau tebing-tebing sungai. (Ruskandi & Thamrin, 2003).

Dengan adanya perbedaan ketinggian muka air tanah dapat mengakibatkan terjadinya kelongsoran. Sering lereng yang tidak di kuat menerima beban yang bekerja pada bagian atasnya ditambah dengan adanya air dalam tanah yang fluktuatif maka kemungkinan terjadinya kelongsoran menjadi semakin besar. Dalam Vidyanti (2012) menyimpulkan kelongsoran yaitu keruntuhan dari massa tanah yang terletak dibawah sebuah lereng. Gambar 2.2 ilustrasi kelongsoran talud yang terjadi pada suatu bukit



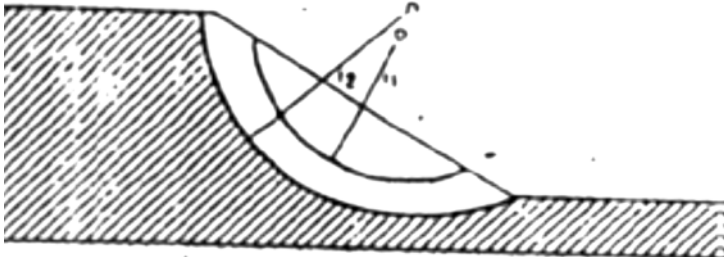
**Gambar 2.2** Kelongsoran Talud

Terdapat beberapa tipe longsor yang sering terjadi diantaranya :

**a. Kelongsoran pada tanah homogen**

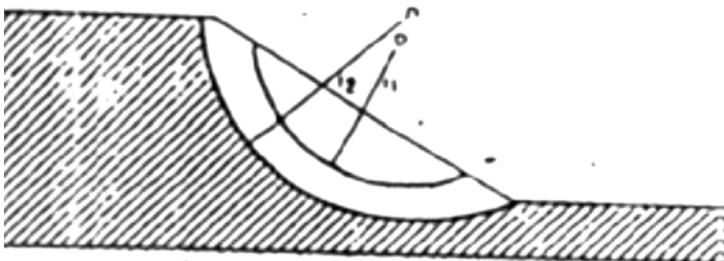
Kelongsoran pada tanah homogen ada dua jenis (Gambar 2.3) yaitu :

- Kelongsoran sepenuhnya terjadi pada talud dan bidang longsornya berpotongan dengan kaki talud.



**Gambar 2.3 (a)** Bidang longsornya berpotongan dengan kaki talud

- Kelongsoran tidak hanya pada talud, tetapi dasar talud juga ikut bergerak. Memiliki bidang longsor yang berbentuk busur lingkaran dengan jari-jari tertentu.



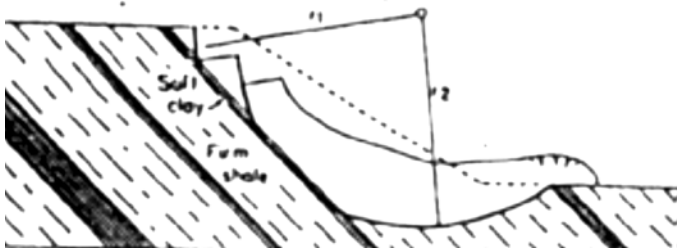
**Gambar 2.3 (b)** Dasar talud juga ikut bergerak

**b. Kelongsoran pada tanah tidak homogen**

Kelongsoran pada tanah tidak homogen ada dua jenis (Gambar 2.4) yaitu :

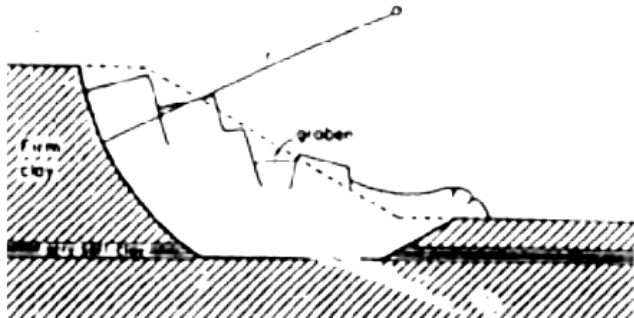
- Kelongsoran ini terjadi bila bentuk permukaan runtuh dipengaruhi adanya kekuatan geser yang berbeda pada lapisan

tanah yang berbatasan, kelongsoran ini terjadi bila lapisan tanah yang berbatasan terletak pada kedalaman yang relatif dangkal.



**Gambar 2.4 (a)** keruntuhan tidak homogen terletak pada kedalaman yang relatif dangkal

- Kelongsoran tidak hanya pada talud, tetapi dasar talud dengan jenis tanah yang berbeda juga ikut bergerak. Hal ini karena tanah dasar talud tidak cukup kuat.



**Gambar 2.4 (b)** Keruntuhan pada talud dan tanah dasar

Pada dasarnya longsor akan terjadi karena dua sebab, yaitu naiknya tegangan geser (*shear stress*) dan menurunnya kekuatan geser. Adapun faktor yang dapat menaikkan tegangan geser adalah :

1. Pengurangan penyanggaan lateral, antara lain karena erosi longsor terdahulu yang menghasilkan lereng baru dan kegiatan manusia.



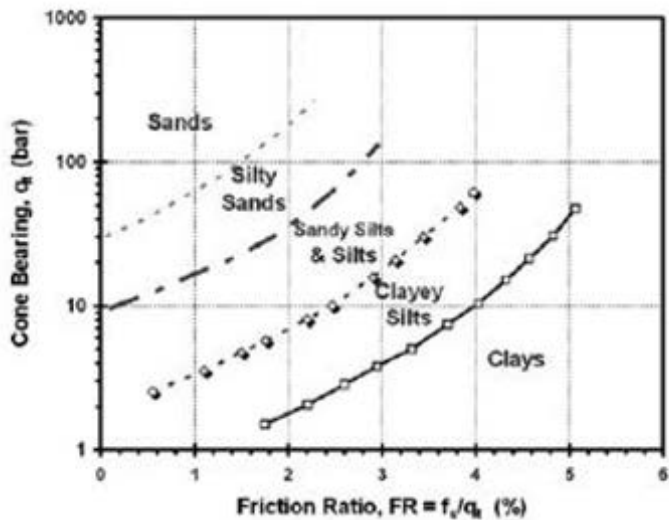
2. Pertambahan tegangan, antara lain karena penambahan beban, tekanan air rembesan, dan penumpukan.
3. Gaya dinamik, yang disebabkan oleh gempa dan getaran lain.
4. Pengangkatan atau penurunan regional yang disebabkan oleh gerakan pembentukan pegunungan dan perubahan sudut kemiringan lereng.
5. Pemindahan penyangga, yang disebabkan oleh pemotongan tebing oleh sungai, pelapukan dan erosi di bawah permukaan, kegiatan pertambangan dan terowongan.

Sedangkan faktor yang mengurangi kekuatan geser adalah :

1. Kondisi awal yang memang sudah rendah disebabkan oleh komposisi, tekstur dan geometri lereng.
2. Perubahan karena pelapukan dan reaksi kimia fisik, yang menyebabkan lempung berposisi menjadi lunak, disintegrasi batuan granular, turunya kohesi, pengembangan lapisan lempung, dan peralutan material penyemenan batuan.
3. Perubahan gaya antara butiran karena pengaruh kandungan air dan tekanan air pori.
4. Perubahan struktur, seperti terbentuknya rekahan pada lempung yang terdapat di tebing/ lereng.

### **2.2.2 Pendekatan Korelasi**

Guna mengolah data tanah dilakukan proses pengolahan data sondir menggunakan tabel dan grafik korelasi data sondir menjadi parameter data tanah lain seperti  $E_i$ ,  $v$ ,  $\gamma_t$ ,  $\gamma_d$ ,  $\gamma_{sat}$ , dan  $C_u$ . Grafik dan tabel yang digunakan untuk mencari korelasi data tanah diperlihatkan pada Tabel 2.1 sampai dengan 2.8 dan Gambar 2.5 sampai dengan 2.6.

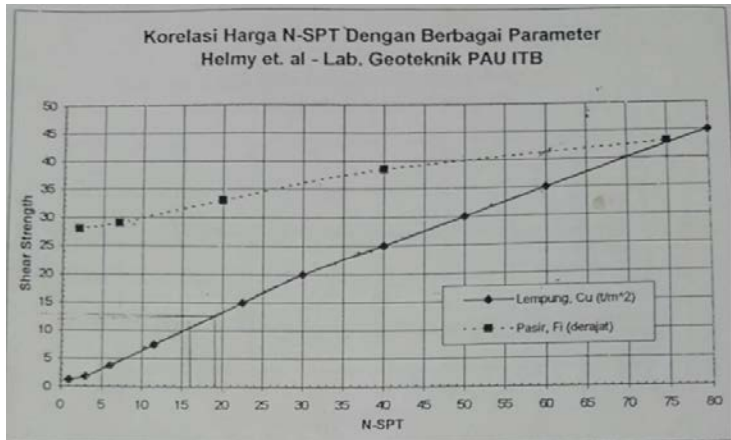


**Gambar 2.5** Klasifikasi Tanah Berdasarkan *Cone Bearing* (q<sub>n</sub>)  
(Sumber : Robertson dan Campanella, 1983)

**Tabel 2.1** Konsistensi Tanah (untuk Tanah Dominan Lanau dan Lempung)

Konsistensi tanah	Taksiran harga kekuatan geser undrained, C <sub>u</sub>		Taksiran harga SPT, harga N	Taksiran harga tahanan conus, q <sub>c</sub> (dari Sondir)	
	kPa	ton/ m <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	kPa
Sangat lunak (very soft)	0 – 12.5	0 – 1.25	0 – 2.5	0 – 10	0 – 1000
Lunak (soft)	12.5 – 25	1.25 – 2.5	2.5 – 5	10 – 20	1000–2000
Menengah (medium)	25 – 50	2.5 – 5.	5 – 10	20– 40	2000 –4000
Kaku (stiff)	50 – 100	5.0 – 10.	10 – 20	40 –75	4000 – 7500
Sangat kaku (very stiff)	100 – 200	10. – 20.	20 – 40	75– 150	7500 – 15000
Keras (hard)	> 200	> 20.	> 40	> 150	> 15000

(sumber : Mochtar, 2012)



**Gambar 2.6** Korelasi nilai N-SPT dengan Nilai Cu  
(sumber : Helmy et. al – Lab. Geoteknik PAU ITB, 2012)

**Tabel 2.2** Korelasi Nilai N-SPT dengan Parameter Tanah (untuk Tanah Lempung)

	Cohesive Soil				
N (blows)	<4	4-6	6-15	16-25	>25
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	14-18	16-18	16-18	16-20	>20
qu (kPa)	<25	20-50	30-60	40-200	>100
Consistency	very soft	soft	medium	stiff	hard

(sumber : Bowles, 1984)

**Tabel 2.3** Korelasi Jenis Tanah dengan Modulus Young dan Poisson Ratio

Type of soil	Modulus of elasticity, $E_s$		Poisson's ratio, $\mu_s$
	MN/m <sup>2</sup>	lb/in <sup>2</sup>	
Loose sand	10.5–24.0	1500–3500	0.20–0.40
Medium dense sand	17.25–27.60	2500–4000	0.25–0.40
Dense sand	34.50–55.20	5000–8000	0.30–0.45
Silty sand	10.35–17.25	1500–2500	0.20–0.40
Sand and gravel	69.00–172.50	10,000–25,000	0.15–0.35
Soft clay	4.1–20.7	600–3000	
Medium clay	20.7–41.4	3000–6000	0.20–0.50
Stiff clay	41.4–96.6	6000–14,000	

(sumber : Braja M Das, 1984)

Sedangkan untuk mendapatkan parameter lain yang diperlukan untuk program bantu maka perlu di cari dry density dan GS (*specific gravity*).

**Tabel 2.4** Korelasi Jenis Tanah ke *Specific Gravity*

Macam Tanah	Berat Jenis Gs
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau Tak Organik	2,62 - 2,68
Lempung Organik	2,58 - 2,65
Lempung Tak Organik	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,80

(sumber : Hardiyatmo, 1992)

**Tabel 2.5** Korelasi Jenis Tanah ke *Dry Density*

Soil Type	Dry Density, $\rho_d$ ( $\text{g/cm}^3$ )
Sand	1.52
Sandy loam	1.44
Loam	1.36
Silt loam	1.28
Clay loam	1.28
Clay	1.20
Concrete	2.40

(Sumer : Hillel, 1980)

Sedangkan untuk material ballast dan sub-ballast pada timbunan di bawah rel kereta api parameter tanahnya menggunakan Tabel 2.6 sampai dengan Tabel 2.8.

**Tabel 2.6** Korelasi Jenis Tanah Kerikil ke Sudut Geser

Kondisi Kepadatan	Relative Density (Kepadatan Relatif) Rd	Perkiraan Harga Nspt	Perkiraan Harga $\phi$ (derajat)	Perkiraan berat volume jenuh $\gamma$ sat(ton/m <sup>3</sup> )
very loose (sangat renggang)	0% s.d 15%	0 s.d 4	0 s.d 28	<1.6
loose (renggang)	15% s.d 35%	4 s.d 10	28 s.d 30	1.5 s.d 2
medium (menengah)	35% s.d 65%	10 s.d 30	30 s.d 36	1.75 s.d 2.1
dense (rapat)	65% s.d 85%	30 s.d 50	36 s.d 41	1.75 s.d 2.25
very dense (sangat rapat)	85% s.d 100%	>50	41	

(sumber : Teng, 1962)

**Tabel 2.7** Korelasi Jenis Tanah Kerikil ke *Dry and Sat Density*

Sifat Tanah		$\gamma$ sat		e	n	Wsat	$\gamma$ sat	K				Cv		gamma		mw/E	
		g/cm <sup>3</sup>	lb cb/ft					cm/s	ft/year	lugeon	cm <sup>2</sup> /s	ft <sup>2</sup> /year	bars	psi	cm <sup>2</sup> /kg	ft <sup>2</sup> /ton	
Silt, Clay	lunak	0.5	31.25	4.4	0.8	163	1.31	1E-09	0.001	0.0001			0.01	0.142	100	97.6	
		0.6	37.5	3.5	0.78	129.6	1.38						0.05	0.71	20	19.52	
		0.7	43.75	2.86	0.74	105.8	1.44	1E-08	0.0103	0.001	0.0001	3.4					
		0.8	50	2.38	0.7	88	1.5				0.0002	6.8	0.1	1.42	10	9.76	
		0.9	56.25	2	0.67	74.1	1.57	1E-07	0.0103	0.01	0.0003	10.1	0.5	7.05	2	1.952	
											0.0004	11.1	1	14.2	1	0.976	
	rata-rata	1	62.5	1.7	0.63	63	1.63	1E-06	1.03	0.1	0.0005	16.9	2	28.4	0.5	0.488	
		1.1	68.75	1.45	1.45	53.9	1.69	2E-06	2.06		0.0006	20.3	3	42.6	0.33	0.32208	
		1.2	75	1.25	1.25	46.3	1.76	3E-06	3.1		0.0007	23.6	4	56.8	0.25	0.244	
		1.3	81.25	1.08	1.08	39.9	1.82	4E-06	4.13		0.0008	27	5	71	0.2	0.1952	
sand		1.4	87.5	0.93	0.93	34.4	1.88	5E-06	5.17		0.0009	30.4	6	85.2	0.17	0.16592	
		1.5	93.75	0.8	0.8	29.6	1.94	6E-06	6.2		0.001	338	7	99.4	0.14	0.13664	
		1.6	100	0.69	0.69	25.5	2.04	7E-06	7.24				8	113.6	0.12	0.11712	
		1.7	106.25	0.59	0.59	21.8	2.07	8E-06	8.26				9	127.8	0.11	0.10736	
		1.8	112.5	0.5	0.5	18.5	2.13	9E-06	9.3		0.01	3380	10	142	0.1	0.0976	
		1.9	118.75	0.42	0.42	15.6	2.2	0.00001	10.33	1			11	156.2	0.091	0.08882	
								0.0001	103	10	0.1	338000	12	170.4	0.083	0.08101	
	gravel	2	125	0.35	0.35	13	2.26	0.001	1030	100			13	184.6	0.077	0.07515	
		2.1	131.25	0.29	0.29	10.6	2.32	0.01	10300	1000			14	198.8	0.073	0.07123	
		2.2	137.5	0.23	0.23	8.4	2.39	0.1	103000	10000			15	215	0.064	0.06246	
Gravel, Sand		2.3	143.75	0.17	0.17	6.4	2.45						20	284	0.05	0.0488	
		2.4	150	0.13	0.13	4.63	2.51						50	710	0.02	0.01952	
		2.5	156.25	0.08	0.08	2.96	2.57						100	1420	0.01	0.00976	
		2.6	162.5	0.038	0.038	1.42	2.64						500	7100	0.002	0.00195	
		2.7	168.75	0	0	0	2.7						1000	14200	0.001	0.00098	

(sumber : Biarez dan Favre, 2012)

**Tabel 2.8** Korelasi Jenis Tanah Kerikil ke Modulus Young dan Poisson Ratio

Type of soil	Modulus of elasticity, $E_s$		Poisson's ratio, $\mu_s$
	MN/m <sup>2</sup>	lb/in <sup>2</sup>	
Loose sand	10.5–24.0	1500–3500	0.20–0.40
Medium dense sand	17.25–27.60	2500–4000	0.25–0.40
Dense sand	34.50–55.20	5000–8000	0.30–0.45
Silty sand	10.35–17.25	1500–2500	0.20–0.40
Sand and gravel	69.00–172.50	10,000–25,000	0.15–0.35
Soft clay	4.1–20.7	600–3000	
Medium clay	20.7–41.4	3000–6000	0.20–0.50
Stiff clay	41.4–96.6	6000–14,000	

(sumber : Braja M Das, 1974)

### 2.2.3 Metode Analisis Kestabilan Lereng

Tujuan dari analisis talud adalah untuk menentukan angka keamanan. Umumnya angka keamanan didefinisikan sebagai

$$Fs = \frac{\tau_f}{\tau_d}$$

dengan  $Fs$  = angka kemanan terhadap kekuatan tanah

$\tau_f$  = kekuatan geser rata-rata dari tanah

$\tau_d$  = tegangan geser rata-rata yang bekerja

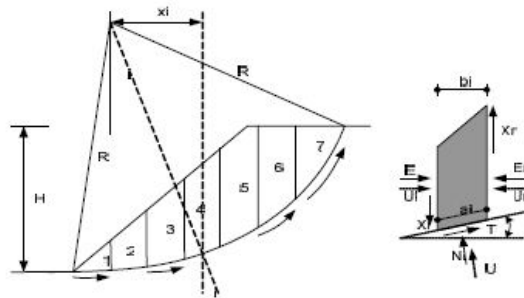
sepanjang bidang longsor

Ada beberapa cara yang dapat dipakai untuk melakukan analisis kestabilan lereng, baik untuk lereng batuan maupun lereng tanah. Terdapat 2 metode yang sering digunakan yaitu metode Felenius dan Bishop.

Metode Bishop digunakan dalam menganalisa kestabilan lereng dengan memperhitungkan gaya-gaya antar irisan yang ada dan memperhitungkan komponen gaya-gaya (horisontal dan vertikal) dengan memperhatikan keseimbangan momen dari masing-masing potongan seperti yang terlihat pada Gambar 2.5. Metode Bishop mengasumsikan bidang longsor berbentuk busur lingkaran atau circular.

Pertama yang harus diketahui adalah geometri dari lereng dan juga titik pusat busur lingkaran bidang luncur. Gambar 2.5 menunjukkan gaya-gaya yang bekerja pada lereng dengan

menggunakan metode irisan. Pada metode irisan, massa tanah pada lereng dibagi menjadi beberapa pias atau irisan. Tiap-tiap pias atau irisan memberikan kestabilan terhadap lereng. Bentuk kelongsoran yang terjadi pada lereng didekati dengan pola berbentuk lingkaran dengan pusat longsor di titik O. Sehingga untuk pusat lingkaran O yang berada diatas lereng, terdapat pias tanah yang menambah kestabilan lereng, dan terdapat massa tanah yang melongsorkan lereng. Massa tanah pada lereng tersebut dibagi dalam beberapa irisan. Keseimbangan tiap irisan ditentukan oleh gaya-gaya yang bekerja pada irisan itu. Gaya-gaya itu adalah gaya geser ( $X_r$  dan  $X_l$ ), gaya normal efektif ( $E_r$  dan  $E_l$ ), resultan gaya geser efektif ( $T_i$ ), dan resultan gaya normal efektif ( $N_i$ ). Pada irisan juga bekerja tekanan air pori di kedua sisi ( $U_r$  dan  $U_l$ ) dan dari bawah irisan ( $U_i$ ).



**Gambar 2.7** Gaya yang Bekerja pada Lereng dengan Metode irisan (sumber: Das, 1999)

Fellini (1927) dan Bishop (1995) telah mengembangkan faktor keamanan (SF) stabilitas lereng berdasarkan metode irisan. Faktor keamanan menurut Fellini (1927) ditunjukkan dalam Persamaan 2.1, sedangkan faktor keamanan menurut Bishop (1995) ditunjukkan dalam persamaan 2.2.

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c \cdot a_i + (W_i \cdot \cos \theta_i - U_i \cdot a_i) \cdot \tan \phi}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \cdot \sin \theta_i} \quad (2.1)$$

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c' \cdot b_i + (W_i - u_i \cdot b_i) \cdot \tan \phi'] \left( \frac{1}{\cos \theta_i \cdot (1 + \tan \theta_i \cdot \tan \phi' / SF)} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \cdot \sin \theta_i} \quad (2.2)$$

Persamaan 2.1 dan Persamaan 2.2 menyatakan bahwa keamanan lereng terhadap bahaya longsor sangat tergantung pada nilai kohesi ( $c'$ ), berat massa tanah yang akan longsor ( $W_i$ ), sudut gesek dalam tanah ( $\phi$ ), dan tekanan air pori yang ada dalam lereng tersebut ( $u_i$ ). Dalam hal ini tekanan air pori akan berupa tekanan air dalam tanah pada lereng. Dalam tugas akhir ini analisis kestabilan lereng menggunakan program bantu *Plaxis*.

### 2.3 *Software Geostudio*

Program bantu yang dapat digunakan untuk menganalisis stabilitas dari lereng atau talud antara lain, GEOSLOPE (2001), dan PLAXIS (2006). Dari analisis dengan program-program tersebut dapat didapatkan momen dorong ( $M_d$ ), momen perlawanan ( $M_r$ ), angka keamanan terhadap kelongsoran ( $SF$ ), serta koordinat pusat bidang kelongsoran. *Geostudio* adalah program komputer yang digunakan untuk memodelkan analisis masalah dalam bidang geoteknik dan geolingkungan. Software ini memiliki beberapa menu utama yaitu SLOPE/W, SEEP/W, Sigma/W, QUAKE/W, TEMP/W, dan CTRAN/W. Tiap-tiap menu utama memiliki analisis masing-masing yang terintegrasi antara satu dengan yang lain. Hal ini memungkinkan untuk menggunakan hasil dari satu output menu ke output menu yang lain.



Pada tugas akhir ini menu yang akan digunakan dalam analisis stabilitas lereng adalah SLOPE/ W. SLOPE/W merupakan menu perangkat lunak untuk menghitung faktor keamanan tanah dan kemiringan tanah. Hasil yang didapatkan dari SLOPE/W yang akan digunakan sebagai analisis stabilitas adalah faktor keamanan timbunan, momen resisting, serta bidang kelongsoran.

Metode perhitungan yang digunakan pada program ini adalah metode Janbu, Bishop, dan Ordinary. Ketiga metode perhitungan ini dapat dibandingkan hasilnya dan didapatkan hasil minimum pada tiap metodenya. Input yang dimasukkan ke dalam program ini untuk analisis stabilitas lereng timbunan antara lain:

1. Input geometri timbunan
2. Input lapisan tanah di bawah timbunan
3. Input parameter tanah berupa berat jenis, sudut geser, kohesifitas, dan parameter lainnya
4. Input muka air tanah
5. dan input lainnya.

Hasil dari analisis dengan *software* ini yang berupa SF, koordinat dan bentuk bidang longsor, serta momen resisting kemudian dapat digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng timbunan.

## **2.4     *Software Plaxis***

PLAXIS (Finite Element Code For Soil and Rock Analysis) adalah program permodelan dan postprocessing metode elemen hingga yang mampu melakukan analisis masalah-masalah geoteknik dalam perencanaan sipil. PLAXIS menyediakan berbagai analisa teknik tentang *displacement*, tegangan-tegangan yang terjadi pada tanah, dan lain-lain. Program ini dirancang untuk dapat melakukan pembuatan geometri yang akan dianalisis.

Parameter tanah yang digunakan dalam program PLAXIS diantaranya yaitu :

1. Berat Volume Tanah Kering
2. Berat Volume Tanah Basah
3. Permeabilitas Arah Horizontal

4. Permeabilitas Arah Vertikal
5. dan parameter lainnya

## 2.5 Konsep Perkuatan Lereng dengan Cerucuk

Perkuatan cerucuk (*mecropiles*) adalah perkuatan yang dianggap sebagai kelompok tiang dengan “rigidcap” di muka tanah yang menerima gaya horisontal. Gaya horisontal tersebut merupakan tegangan geser yang terjadi di sepanjang bidang gelincir (Mochtar, 2000). NAVFAC DM-7 merupakan pedoman yang berasal dari Amerika untuk dapat digunakan dalam mendesain pada bidang geoteknik, seperti mendesain pondasi dalam, dinding penahan tanah, dan lain-lain. Beberapa kondisi tiang lateral seperti pada Gambar 2.8 adalah sebagai berikut

### 1. Kasus 1

Kondisi dimana tiang pondasi dengan *flexible cap* atau perletakan engsel. Dimana gaya horisontal dan momen yang bekerja terletak pada bagian kepala tiang dan dalam kondisi bebas berotasi.

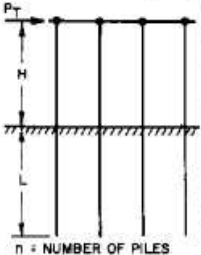

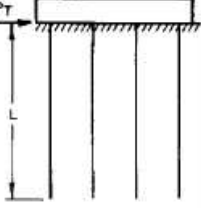

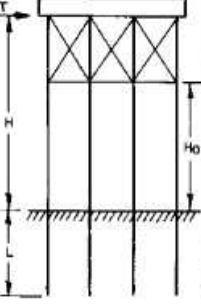
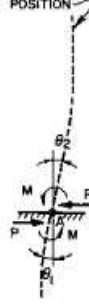
### 2. Kasus 2

Kondisi dimana tiang pondasi dengan *rigid cap* dapat melawan gaya yang berotasi dipermukaan. Gaya horizontal bekerja pada kepala tiang.

### 3. Kasus 3

Kondisi dimana tiang pondasi dengan *rigid cap* yang memiliki ketinggian diatas permukaan tanah. Gaya yang berotasi dari tiang tergantung dengan pengaruh dari struktur atas dan kemampuan dibawah permukaan tanah.

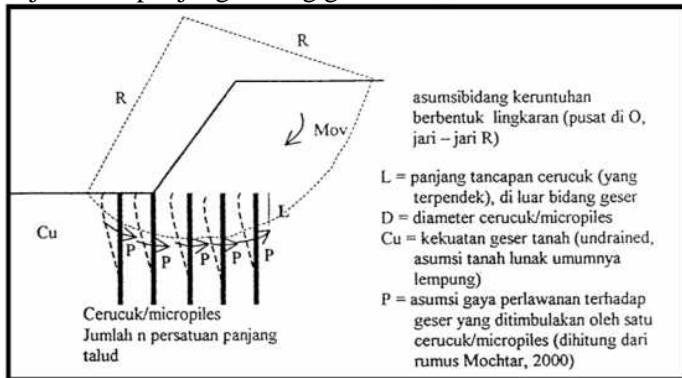
Mochtar (2000) telah mengembangkan teori penambahan tahanan geser dari tanah akibat adanya cerucuk. Teori ini berdasarkan pada teori tiang pancang penahan gaya horisontal oleh NAVFAC DM-7 (1971) khususnya pada kondisi kasus 2. Pada teori tersebut daya dukung geser tiang pancang terhadap gaya lateral pada suatu tanah dipengaruhi oleh kekakuan dan kekuatan lentur dari tiang pancang tersebut, panjang penetrasi tiang yang masuk pada tanah diukur dari permukaan tanah, kekuatan geser tanahnya sendiri, dan jumlah tiang pancang.

CASE I. FLEXIBLE CAP, ELEVATED POSITION		
CONDITION	LOAD AT GROUND LINE	DESIGN PROCEDURE
 <p><math>n = \text{NUMBER OF PILES}</math></p>	<p>FOR EACH PILE:</p> $P = \frac{P_T}{n}$ $M = PH$  <p>DEFLECTED POSITION</p>	<p>FOR DEFINITION OF PARAMETERS SEE FIGURE 12</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. COMPUTE RELATIVE STIFFNESS FACTOR.  <math display="block">T = \left( \frac{EI}{P} \right)^{1/3}</math></li> <li>2. SELECT CURVE FOR PROPER <math>\frac{L}{T}</math> IN FIGURE 11.</li> <li>3. OBTAIN COEFFICIENTS <math>F_B, F_M, F_V</math> AT DEPTHS DESIRED.</li> <li>4. COMPUTE DEFLECTION, MOMENT AND SHEAR AT DESIRED DEPTHS USING FORMULAS OF FIGURE 11.</li> </ol> <p>NOTE: "f" VALUES FROM FIGURE 9 AND CONVERT TO LB/IN<sup>3</sup>.</p>
CASE II. PILES WITH RIGID CAP AT GROUND SURFACE		
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. PROCEED AS IN STEP 1, CASE I.</li> <li>2. COMPUTE DEFLECTION AND MOMENT AT DESIRED DEPTHS USING COEFFICIENTS <math>F_B, F_M</math> AND FORMULAS OF FIGURE 12.</li> <li>3. MAXIMUM SHEAR OCCURS AT TOP OF PILE AND EQUALS <math>P = \frac{P_T}{n}</math> IN EACH PILE.</li> </ol>
CASE III. RIGID CAP, ELEVATED POSITION		
	<p>DEFLECTED POSITION</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ASSUME A HINGE AT POINT A WITH A BALANCING MOMENT M APPLIED AT POINT A.</li> <li>2. COMPUTE SLOPE <math>\theta_2</math> ABOVE GROUND AS A FUNCTION OF M FROM CHARACTERISTICS OF SUPERSTRUCTURE.</li> <li>3. COMPUTE SLOPE <math>\theta_1</math> FROM SLOPE COEFFICIENTS OF FIGURE 13 AS FOLLOWS:  <math display="block">\theta_1 = F_\theta \left( \frac{PT^2}{EI} \right) + F_\theta \left( \frac{MT}{EI} \right)</math></li> <li>4. EQUATE <math>\theta_1 = \theta_2</math> AND SOLVE FOR VALUE OF M.</li> <li>5. KNOWING VALUES OF P AND M, SOLVE FOR DEFLECTION, SHEAR, AND MOMENT AS IN CASE I.</li> </ol> <p>NOTE: IF GROUND SURFACE AT PILE LOCATION IS INCLINED, LOAD P TAKEN BY EACH PILE IS PROPORTIONAL TO <math>I/H_0^3</math>.</p>

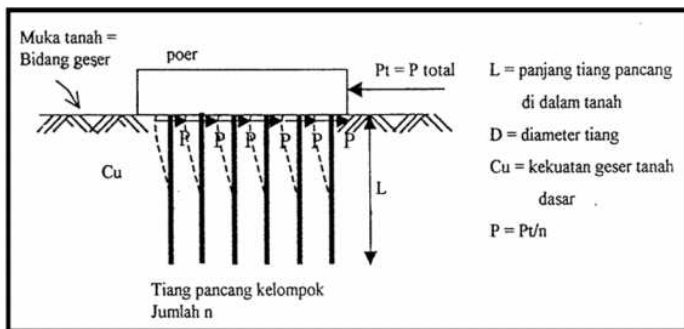
**Gambar 2.8** Prosedur Desain untuk Tiang yang Menerima Beban Lateral (Mochtar 2000, dari NAVFAC DM-7, 1971)

Dalam Gambar 2.9 dan Gambar 2.10 asumsi-asumsi yang digunakan dalam teori penambahan tahanan geser dari tanah akibat adanya cerucuk oleh Mochtar (2000) adalah sebagai berikut :

1. Kelompok cerucuk dianggap sebagai kelompok tiang dengan *rigid cap* di muka tanah yang menerima gaya horisontal.
2. Gaya horisontal tersebut merupakan tegangan geser yang terjadi di sepanjang bidang gelincir.



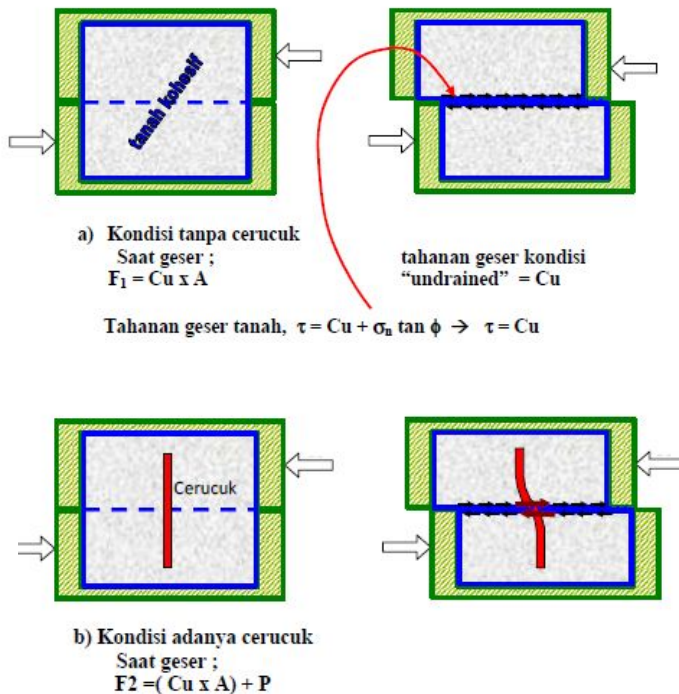
**Gambar 2.9** Asumsi Kedudukan Cerucuk/Micropiles sebagai Penahan Terhadap Keruntuhan Geser di Lapangan (Mochtar 2000, dari NAVFAC DM-7, 1971)



**Gambar 2.10** Asumsi Tiang Pancang Kelompok Menahan Gaya Lateral yang di Gunakan sebagai Dasar Mencari Tahanan Geser Cerucuk (Mochtar 2000, dari NAVFAC DM-7, 1971)

Cerucuk digunakan dengan tujuan untuk meningkatkan tahanan geser tanah. Apabila komponen tahanan tanah terhadap

geser meningkat maka daya dukung tanah juga menjadi meningkat. Cerucuk dapat berfungsi menahan gaya geser lebih besar dibandingkan dengan tanah. Dalam Gambar 2.10 menjelaskan bahwa dengan adanya cerucuk pada tanah maka kekuatan geser tanah menjadi meningkat dibandingkan pada kondisi tanpa cerucuk.



**Gambar 2.11** Sketsa Peningkatan Kekuatan Geser Tanah Akibat Pemasangan Cerucuk

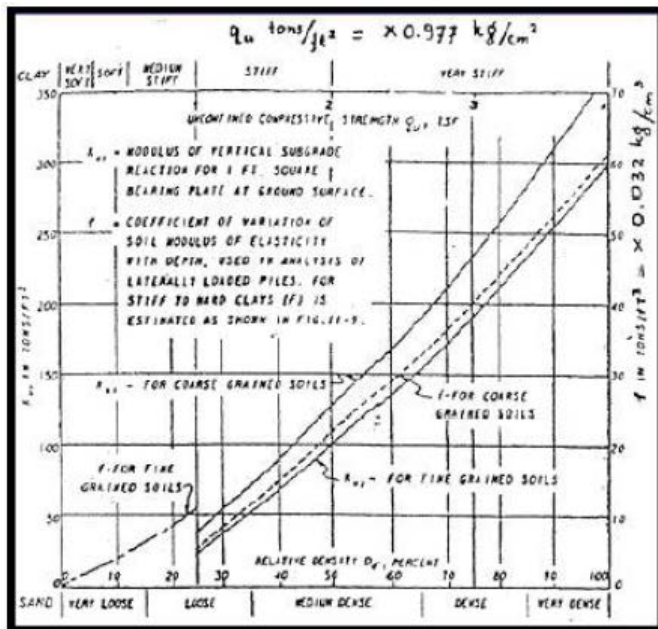
### 2.5.1 Perhitungan Faktor Kekakuan Relatif (T)

Perhitungan factor kekauan relative adalah

$$T = \left( \frac{EI}{f} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (2.3)$$

Dimana :

- E : modulus elastisitas tiang (cerucuk),  $\text{kg/cm}^2$   
 I : momen inersia penampang tiang pancang,  $\text{cm}^4$   
 f : koefisien variasi dari modulus tanah,  $\text{kg/cm}^3$   
 T : factor kekauan relative, cm



**Gambar 2.12** Harga  $f$  dari Berbagai Jenis Tanah  
 (Sumber: NAVFAC DM-7, 1971)

### 2.5.2 Perhitungan Kekuatan untuk Satu Cerucuk

Harga  $T$  yang diperoleh digunakan untuk menghitung gaya horizontal ( $P$ ) yang mampu ditahan oleh satu tiang dengan persamaan

$$P = \left( \frac{M_p}{F_m \times T} \right) \quad (2.4)$$

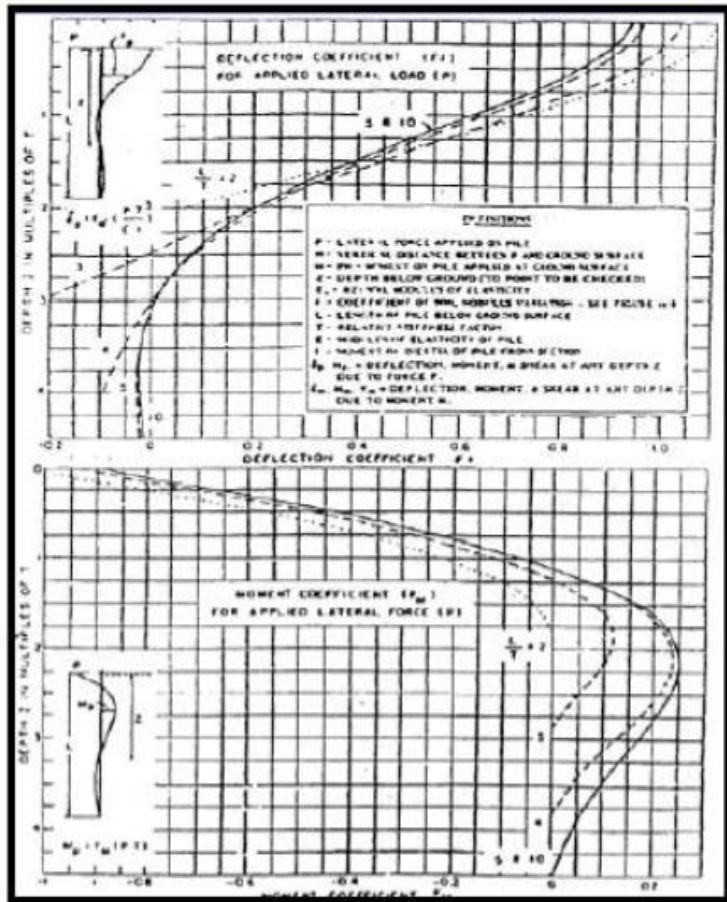
Dimana :

$M_p$  : momen lentur akibat beban  $P$ , kg-cm

$F_m$  : koefisien momen akibat gaya lateral  $P$

$P$  : gaya horizontal yang diterima cerucuk, kg

$T$  : faktor kekakuan relative, cm



**Gambar 2.13** Grafik untuk Menentukan Besarnya  $F_m$   
(Sumber: NAVFAC DM-7, 1971)

**Tabel 2.9** Model Persamaan Cerucuk untuk Masing-Masing Variasi Perlakuan

Variasi Cerucuk	$P_{lab} / P_{analitical}$	Regression Formula obtained from Section 4
<b>Variasi Rasio Tancap</b> $X_t = L/D$	2.546	$Y_t = (0.101(X_t) - 0.3928) * 0.89111$  $(Y_t = 1.0 \text{ when } L/D = 15)$
	2.027	
	1.812	
<b>Variasi Spasi</b> $X_s = S/D$	2.287	$Y_s = -0.046(X_s)^2 + 0.485(X_s) - 0.273;$  $(Y_s = 1.0 \text{ when } S/D = 5)$
	2.546	
	4.533	
<b>Variasi Jumlah (Sejajar)</b> $X_n$	1.761	$Y_n = -0.0469x_n + 1.0506;$ $(Y_n = 1.0 \text{ when } X_n = 1)$
<b>Variasi Diameter</b> $X_D = D/T$	2.546	$Y_D = 36.267(X_D) - 3.5739;$ $(Y_D = 1.0 \text{ when } D/T = 0.1)$
<b>Rata-rata</b>	2.51	

(Sumber : Draft Jurnal Internasional Rusdiansyah)

Sehingga model persamaan peningkatan tahanan geser tanah akibat adanya cerucuk menjadi :

$$P_{\max(1\text{cerucuk})} = \frac{M_{p\max(1\text{cerucuk})}}{F_M \times T} \cdot F_{kg} \quad (2.5)$$

Menurut Mochtar dan Arya (2002),

Dimana :

$$F_{kg} : 2,51 * Y_t * Y_s * Y_n * Y_D \quad (2.6)$$

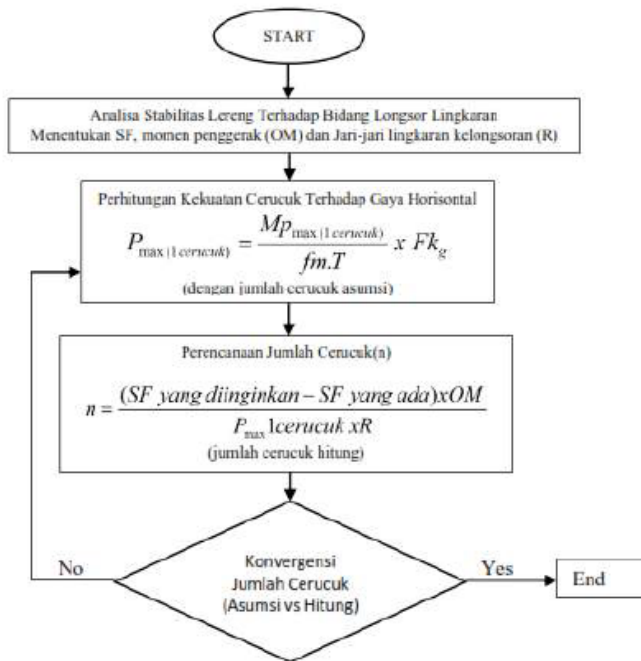
(syarat spasi 3D sampai 8D)



P <sub>max</sub>	: gaya horizontal maksimum yang diterima cerucuk, kg
F <sub>kg</sub>	: faktor koreksi gabungan
M <sub>pmax</sub>	: momen lentur yang bekerja pada cerucuk akibat P (kg.cm)
f <sub>m</sub>	: koefisien momen akibat gaya lateral P (dari kurva NAVFAC DM-1971)
T	: Faktor kekauan relative, cm (dari kurva NAVFAC DM-1971)
D	: diameter cerucuk, cm
E	: modulus elastisitas tiang (cerucuk), kg/ cm <sup>2</sup>
I	: momen inersia tiang (cerucuk), cm <sup>4</sup>
f	: koefisien dari variasi modulus tanah, kg/ cm <sup>3</sup>
Y <sub>t</sub>	: persamaan dari pengaruh rasio tancap cerucuk
X <sub>t</sub>	: rasio Tancap (L/D)
X <sub>s</sub>	: spasi (S/D)
Y <sub>n</sub>	: persamaan dari pengaruh jumlah cerucuk
X <sub>n</sub>	: jumlah cerucuk
Y <sub>D</sub>	: persamaan dari pengaruh diameter cerucuk
X <sub>D</sub>	: ratio D/T

### 2.5.3 Penentuan Jumlah Cerucuk

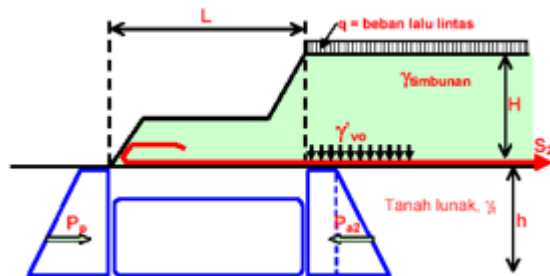
Untuk menghitung banyaknya cerucuk per satuan panjang, pertama sekali ditentukan gaya horizontal tambahan pada bidang gelincir yang diperlukan untuk menambah kekuatan geser tanah. Berikut prosedur menentukan jumlah cerucuk yang digunakan.



**Gambar 2.14** Prosedur Desain Jumlah Cerucuk

## 2.6 Konsep Perencanaan Perkuatan Lereng dengan Counterweight

Perkuatan *counterweight* adalah perkuatan dengan memberikan timbunan di samping tanah timbunan yang akan di perkuat atau di perbaiki. *Counterweight* akan berfungsi sebagai penahan longsor terhadap tanah yang lemah. Menurut Eren Sebayang dan Rudi Iskandar (2008) dalam jurnalnya Perencanaan Stabilitas Lereng dengan *Sheet Pile* dan Perkuatan Geogrid menggunakan Metode Elemen Hingga, penambahan *counterweight* dibelakang *sheet pile* dapat meningkatkan faktor keamanan yang cukup signifikan. Untuk menghitung perkuatan *counterweight* ini menggunakan prinsip *foundation stability*.



**Gambar 2.15 Prinsip *Foundation Stability***

Kondisi *foundation stability* terpenuhi apabila :

$$Pa \leq \frac{Pp + 2 Su \times L}{SF} \text{ dan } S_2 \geq (Su \times L) \times SF \quad (2.7)$$

Dimana,  $Su = Cu = \text{undrained shear strength}$  dari tanah lunak.

$$(\sigma_{vo} = q + H \cdot \gamma_{timbunan}) \quad (2.8)$$

$$Pa_2 = (\sigma_{vo} - 2Cu) \cdot h + 0.5 \cdot h^2 \cdot \gamma_t \text{ (ton/m')} \quad (2.9)$$

$$Pp = 0.5 \cdot h^2 \cdot \gamma_t + 2 \cdot Cu \cdot h \text{ (ton/m')} \quad (2.10)$$

Setelah didapatkan nilai  $L$  dari rumus diatas dengan  $SF$  1.5 sesuai peraturan menteri selanjutnya perkuatan di analisis dengan menggunakan *software Plaxis* atau *GeoStudio* dengan berpatokan pada *safety factor* dan panjang yang sudah dicari.

## 2.7 Konsep Perencanaan Perkuatan Lereng dengan Turap (*Sheet Pile*)

Konstruksi turap adalah satu konstruksi yang banyak digunakan dalam rekayasa sipil, yang bisa berupa konstruksi sederhana hingga konstruksi sangat berat. Tiang-tiang turap (*sheet piles*) sering digunakan untuk membangun sebuah dinding yang berfungsi sebagai penahan tanah.

Konstruksi turap juga dapat dibuat dari bahan beton ataupun baja. Perkuatan turap dengan menggunakan beton biasanya digunakan untuk perkuatan permanen. Perkuatan ini biasanya terdapat di lereng bukit yang terjal ataupun timbunan yang memang tinggi dan membutuhkan perkuatan. Sedangkan turap baja bisa digunakan sebagai turap permanen bisa juga digunakan untuk turap tidak permanen. Turap baja biasa

digunakan untuk *dewatering* air sungai yang akan di buat pilar.

Dalam memperkirakan dan menghitung kestabilan turap, diperlukan menghitung tekanan ke arah samping (lateral). Tekanan lateral terjadi karena massa tanah menerima beban akibat tegangan normal maupun berat kolom tanah. Hal ini menyebabkan terjadinya tekanan kearah tegak lurus atau kearah samping. Besarnya tekanan tanah lateral sendiri sangat dipengaruhi oleh fisik tanah, sudut geser, dan kemiringan tanah terhadap bentuk struktur turap.

Tekanan tanah lateral dibagi menjadi tekanan tanah dalam keadaan diam, tekanan tanah aktif, dan tekanan tanah pasif. Tekanan tanah dalam kondisi diam terjadi akibat massa tanah pada dinding penahan berada dalam kondisi seimbang. Tekanan tanah aktif merupakan tekanan yang berusaha untuk mendorong dinding penahan tersebut kedepan. Sementara tekanan tanah pasif merupakan tekanan yang berusaha mengimbangi tekanan tanah aktif.

### 2.7.1 Tekanan Lateral Aktif

Berikut tahap-tahap dalam merencanakan turap tanpa angker:

1. Menggambar distribusi tekanan tanah aktif dan pasif dengan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma_{h \text{ aktif}} = \sigma_v \cdot K_a - 2C\sqrt{K_a} \quad (2.11)$$

$$\sigma_{h \text{ pasif}} = \sigma_v \cdot K_p + 2C\sqrt{K_p} \quad (2.12)$$

dimana:

$\sigma_{h \text{ aktif}}$  = tegangan horisontal tanah aktif

$\sigma_{h \text{ pasif}}$  = tegangan horisontal tanah pasif

$\sigma_v$  = tegangan vertikal tanah

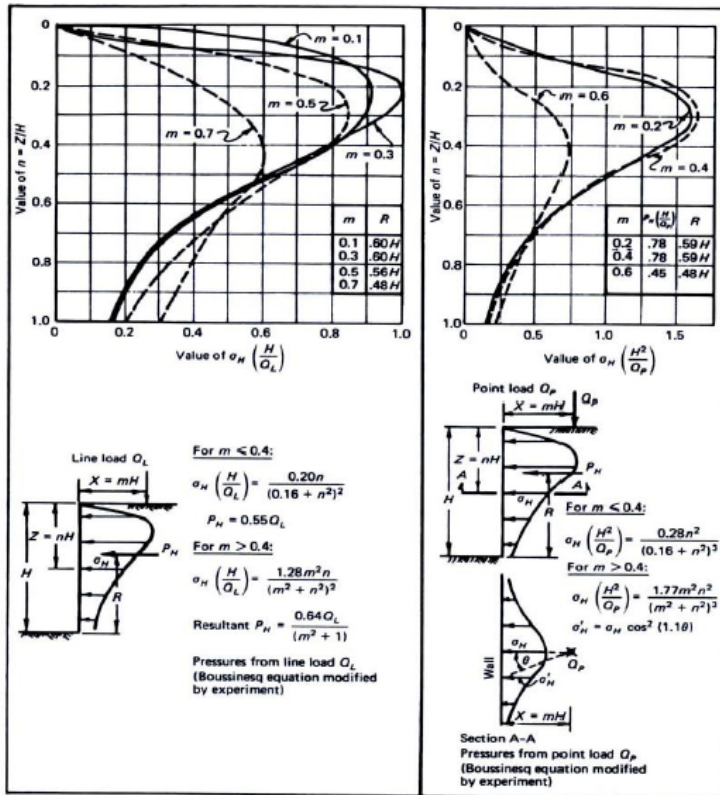
C = nilai kohesivitas tanah

$$K_a = \tan^2\left(45 - \frac{\Phi}{2}\right) \quad (2.13)$$

$$K_p = \tan^2\left(45 + \frac{\Phi}{2}\right) \quad (2.14)$$

$\Phi$  = sudut geser tanah

Untuk beban terpusat distribusi tekanan tanah aktif dan pasif menggunakan persamaan dalam rumus pada Gambar 2.16.



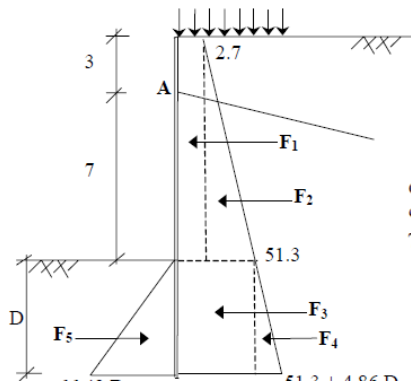
**Gambar 2.16** Gaya-Gaya pada Diagram Tekanan Tanah Horisontal Beban Terpusat

## 2. Mencari Kedalaman Turap (D)

Kedalaman turap diperoleh dari keseimbangan momen pada titik O, yaitu titik dasar dari perencanaan turap. ( $\Sigma M_o = 0$ ). Kedalaman turap hasil perhitungan kemudian dikalikan dengan angka keamanan antar 1,2 s/d 2,0.

### 3. Menentukan Profil Turap

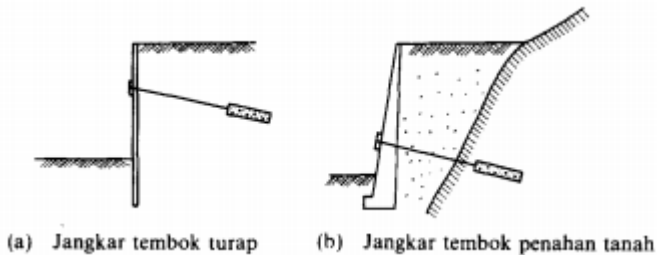
Profil turap ditentukan berdasarkan momen maksimum yang terjadi pada turap. Momen maksimum didapatkan dari turunan persamaan momen akibat gaya horisontal. Nilai yang didapatkan kemudian disubstitusikan ke dalam persamaan momen akibat gaya horisontal.



**Gambar 2.17** Gaya-Gaya pada Diagram Tekanan Tanah Horisontal

#### 2.7.2 Perencanaan Turap dengan Angker

Metode penjangkaran tanah disebut juga dengan nama *Alluvian Anchor*, *Ground Anchor*, atau *Tieback Anchor*, sesuatu yang dikembangkan di Eropa sekitar 20 tahun lalu. Dalam metode ini pemboran dilakukan di dalam tanah pondasi yang baik terdiri dari lapisan berpasir, lapisan berkerikil, lapisan berbutir halus ataupun batuan yang lapuk, serta suatu bagian yang menahan gaya Tarik seperti campuran semen dengan kabel baja atau semen dengan batang baja dimasukkan ke dalam lubang hasil pemboran tersebut, kemudian disertai suatu gaya tarik setelahnya untuk memperkuat konstruksinya. Dalam banyak hal dipergunakan untuk melawan tekanan seperti turap ataupun tembok penahan tanah, lihat Gambar 2.19.



**Gambar 2.18** Contoh Penjangkaran

(Sumber : K.Nakzawa dkk, 2000)

Dalam tugas akhir ini digunakan penjangkaran dengan metode Angker *dead man*. Perencanaan turap dengan angker dengan metode ini memiliki tahap perhitungan yang hampir sama dengan perencanaan turap tanpa angker. Yang membedakan adalah cara menentukan kedalaman turap (D) serta adanya perencanaan angker.

Pada turap tanpa angker, nilai D diperoleh dengan keseimbangan momen pada titik A (Gambar 2.14), yakni titik dimana angker dipasang. Langkah untuk menentukan profil turap sama. Untuk perencanaan angker sebagai berikut:

#### 1. Perencanaan Blok Angker

Menurut Teng (1962), apabila  $H/h \leq 1,5$  sampai 2 tinggi blok angker dapat dianggap = H.

$$\text{Untuk } B/h \approx \infty; P_u = B(P_p - P_a) \quad (2.15)$$

Untuk  $B/h < 5$ , persamaan untuk menghitung kapasitas blok angker pendek di dekat tanah untuk tanah granular adalah sebagai berikut:

$$T_{ult} \leq B(P_p - P_a) + \frac{1}{3} K_o \gamma (\sqrt{K_p} + \sqrt{K_a}) H^3 \tan \phi \quad (2.16)$$

dimana:

$T_{ult}$  = kapasitas maksimum blok angker

$K_o$  = koefisien tekanan tanah diam (0,4)

H = kedalaman angker terhadap permukaan tanah

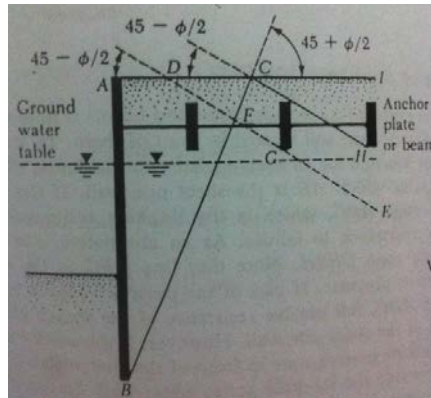
B = lebar blok angker

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.17)$$

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 \tan^2(45 - \frac{\phi}{2}) \quad (2.18)$$

## 2. Menentukan Panjang *Rod* Angker

Blok angker harus terletak di zona tanah yang stabil. Penggambaran zona aman dapat dilihat pada Gambar 2.15.



**Gambar 2.19** Penentuan Lokasi Angker  
(sumber: Das, 1990)

Perencanaan turap dengan angker tidak hanya menggunakan teknik *Rod* angker saja, perencanaan turap berangker dapat menggunakan teknik grouting apabila teknik *Rod* angker tidak dapat dilaksanakan dilapangan. Metode penjangkaran dengan grouting menggunakan PC baja atau kabel sebagai batang tarik yang dijangkarkan kedalam tanah lalu di dalam lubang hasil pemboran di grouting dan batang tarik ini dijangkar, untuk menghindari mengalir keluarnya adukan semen dari lubang sewaktu sedang dilakukan grouting, perlu dipasang alat khusus didalam lubang tersebut yaitu “Packer” untuk menahan tekanan tinggi.

Perencanaan turap menggunakan metode grouting sangat dipengaruhi oleh kekuatan leleh dari jangkar. Kekuatan tarik suatu jangkar tergantung dari tahanan geser di satu pihak, tahanan pasif



yang bekerja di muka jangkar dengan penampang yang besar di lain pihak, serta gabungan antara keduanya.

Suatu persamaan untuk menghitung gaya tarik batas adalah sebagai berikut:

$$T_u = \pi D_1 \int_{z_1}^{z_1 + l_1} \tau_z \cdot dz + q \cdot s + \pi D_2 \int_{z_2}^{z_2 + l_2} \tau_z \cdot dz \quad (2.19)$$

Dimana :  $T_u$  : Kekuatan batas leleh

$D_1$  : Garis tengah jangkar

$D_2$  : Garis tengah batang jangkar yang membesar

$\tau_1$  : Tahanan tarik dari jangkar terhadap pondasi pada kedalaman  $z$

$q$  : Tahanan tarik dari bagian jangkar yang membesar

$s$  : Luas dari bagian jangkar yang membesar

Dalam hal penjangkaran dengan tahanan geser maka suku pertama saja dibagian kanan persamaan 2.13 tidak menimbulkan persoalan, dan suku kedua perlu dipertimbangkan pada jenis penjangkaran dengan plat pemikul. Dari hasil-hasil pengalaman yang lalu maka suatu perkiraan kasar dari tahanan tarik adalah seperti Tabel 2.11.

Persamaan tahanan gesek untuk beton grouting adalah sebagai berikut:

$$SF \times T = \tau \quad (2.20)$$

Dimana:  $SF$  : *Safety Factor* (1.5)

$T$  : Gaya gesek

$\tau$  :  $(C + \sigma v \cdot \tan \phi)$ . Luas

Kekuatan leleh batas dari jangkar didapa dengan mengalikan nilai kekuatan leleh rencanan dengan suatu faktor keamanan. Dengan lain perkataan, bila kekuatan leleh batas adalah  $T_a$  dan faktor keamanan adalah  $F_s$  maka kekuatan leleh yang diperbolehkan adalah:

$$T_a = \frac{T_u}{F_s} \quad (2.21)$$

Biasanya faktor keamanan dianggap lebih besar daripada nilai-nilai yang berkaitan dengan penggunaan jangkar tersebut. Yaitu 1,5 bila untuk kosntruksi sementara dan 2,5 bila untuk

konstruksi permanen. Untuk susunan penjangkaran yang berlapis terdapat banyak hal di mana susunan jangkar ditentukan oleh kekuatan jangkarnya. Jarak vertikal biasanya 2,5 sampai 5,0 m dan jarak mendatar antara 1,5 sampai 4,5 meter. Tergantung dari jarak jangkar, pengaruh kelompok perlu diperhitungkan tetapi data-data pengujiaya masih sulit diperoleh pada waktu ini.

**Tabel 2.10** Perkiraan Kasar dari Perlawanan Geser yang Bekerja pada Permukaan Jangkar

Macam dari tanah pondasi			Perlawanan geser (kg/m <sup>2</sup> )
Batuan dasar	Batuan keras		15–25
	Batuan lembek		10–15
	Batuan lapuk		6–10
	Batuan lumpur		6–12
Kerikil	Nilai <i>N</i> (SPT)	10	1,0–2,0
		20	1,7–2,5
		30	2,5–3,5
		40	3,5–4,5
		50	4,5–7,0
Pasir	Nilai <i>N</i> (SPT)	10	1,0–1,4
		20	1,8–2,2
		30	2,3–2,7
		40	2,9–3,5
		50	3,0–4,0
Tanah kohesif			1,0 C

Dalam praktek, kekuatan leleh rencana untuk tiap jangkar diperkirakan sekitar 30 sampai 70 ton apabila di dalam lapisan tanah, serta sekitar 60 sampai 120 ton bila di dalam lapisan butuan, tidak perlu pengawasan pelaksanaan yang ketat dan hasilnya aman serta efisien dari segi ekonomi.

## 2.8 Pembebanan Kereta Api

Dalam perencanaan perkuatan timbunan memerlukan beban kereta api yang akan melintas. Mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia NOMOR : PM. 60 Tahun 2012, beban desain yang digunakan untuk mendesain perkuatan timbunan sebesar 18 ton untuk lebar gandar 1067mm dan 22,5 ton untuk lebar gandar 1435mm. Ditunjukkan pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3, serta skema pembebanan pada Gambar 2.20.

**Tabel 2.11** Pembebanan Kereta Api dengan Lebar Gandar 1067mm

Kelas Jalan	Daya Angkut Lintas (ton/tahun)	V maks (km/jam)	P maks gandar (ton)	Tipe Rel	Jenis Bantalan	Jenis Penambat	Tebal Balas Atas (cm)	Lebar Bahu Balas (cm)
					Jarak antar sumbu bantalan (cm)			
I	$> 20 \cdot 10^6$	120	18	R.60/R.54	Beton 60	Elastis Ganda	30	60
II	$10 \cdot 10^6 - 20 \cdot 10^6$	110	18	R.54/R.50	Beton/Kayu 60	Elastis Ganda	30	50
III	$5 \cdot 10^6 - 10 \cdot 10^6$	100	18	R.54/R.50/R.42	Beton/Kayu/Baja 60	Elastis Ganda	30	40
IV	$2,5 \cdot 10^6 - 5 \cdot 10^6$	90	18	R.54/R.50/R.42	Beton/Kayu/Baja 60	Elastis Ganda/ Tunggal	25	40
V	$< 2,5 \cdot 10^6$	80	18	R.42	Kayu/Baja 60	Elastis Tunggal	25	35

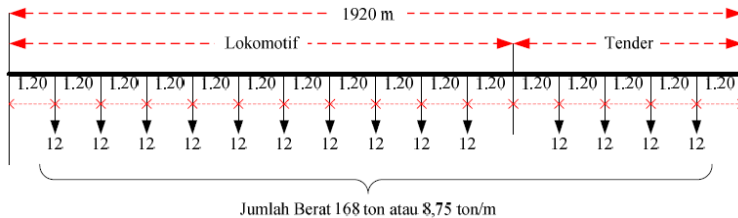
**Tabel 2.12** Pembebanan Kereta Api dengan Lebar Gandar 1435mm

Kelas Jalan	Daya Angkut Lintas (ton/tahun)	V maks (km/jam)	P maks gandar (ton)	Tipe Rel	Jenis Bantalan	Jenis Penambat	Tebal Balas Atas (cm)	Lebar Bahu Balas (cm)
					Jarak antar sumbu bantalan (cm)			
I	$> 20 \cdot 10^6$	160	22,5	R.60	Beton 60	Elastis Ganda	30	60
II	$10 \cdot 10^6 - 20 \cdot 10^6$	140	22,5	R.60	Beton 60	Elastis Ganda	30	50
III	$5 \cdot 10^6 - 10 \cdot 10^6$	120	22,5	R.60/R.54	Beton 60	Elastis Ganda	30	40
IV	$< 5 \cdot 10^6$	100	22,5	R.60/R.54	Beton 60	Elastis Ganda	30	40

Adapun Skema pembebanan kereta api menurut Peraturan Menteri Nomor 60 Tahun 2012 adalah :

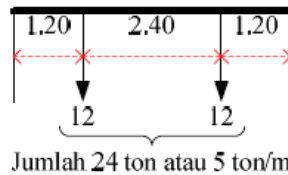
#### Muatan Gerak

Sebagai muatan gerak dianggap suatu susunan kereta api terdiri dari 2 Lokomotif pakai tender, serupa demikian :



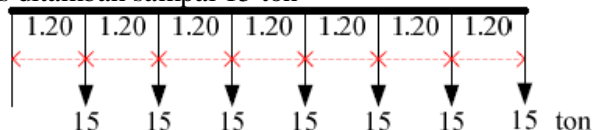
**Gambar 2.20** Skema Pembebanan Kereta Api 2 Lokomotif

Bila dengan kereta / gerobak yang banyaknya tidak tertentu, serupa demikian :



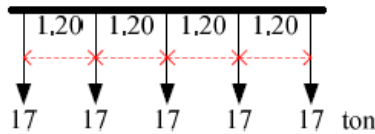
**Gambar 2.21** Skema Pembebanan Kereta Api dengan Kereta Gerobak

Susunan kereta itu selalu dibikin sehingga bagi bagian yang harus dihitung kekuatannya paling berbahaya, jika ada 6 atau 7 gandar yang dapat tempat dalam hitungannya, maka beratnya muatan gandar harus ditambah sampai 15 ton



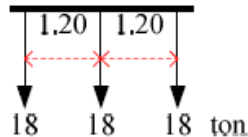
**Gambar 2.22** Skema Pembebanan Kereta Api 6 atau 7 Gandar

Jika hanya ada 5 gandar yang dapat tempat dalam hitunganya, maka beratnya muatan gandar harus ditambah sampai 17 ton.



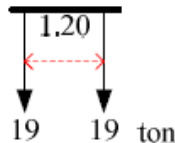
**Gambar 2.23** Skema Pembebanan Kereta Api 5 Gandar

Jika hanya ada 3 gandar yang dapat tempat dalam hitunganya, maka beratnya muatan gandar harus ditambah sampai 18 ton.



**Gambar 2.24** Skema Pembebanan Kereta Api 3 Gandar

Jika hanya ada 2 gandar yang dapat tempat dalam hitunganya, maka beratnya muatan gandar harus ditambah sampai 19 ton.



**Gambar 2.25** Skema Pembebanan Kereta Api 2 Gandar

Jika hanya ada 1 gandar yang dapat tempat dalam hitunganya, maka beratnya muatan gandar harus ditambah sampai 20 ton.



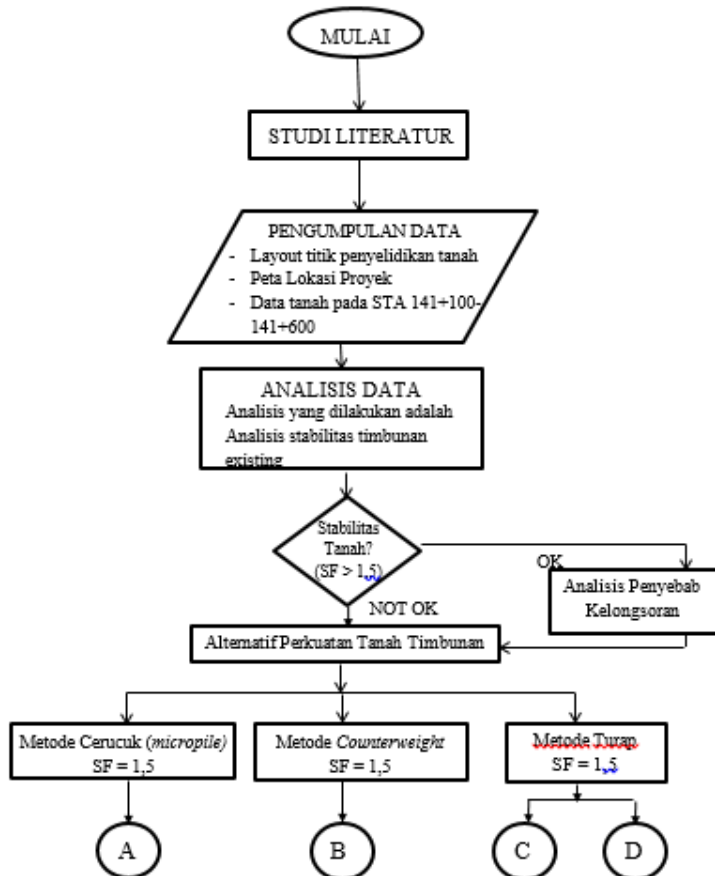
**Gambar 2.26** Skema Pembebanan Kereta Api 1 Gandar

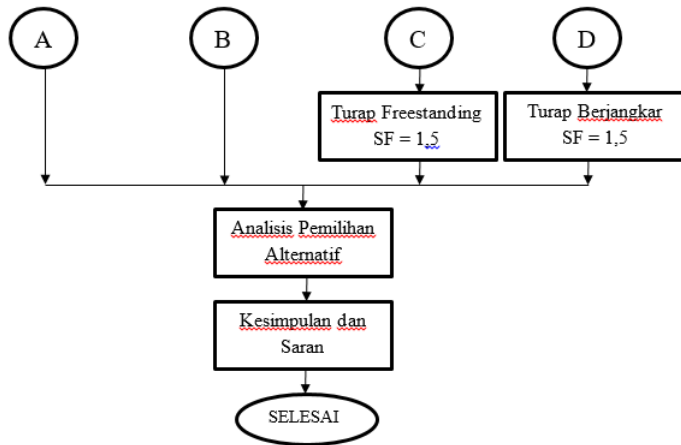
Dari rencana-rencanan muatan tersebut, selalu yang dipilih itu rencana yang pendapatanya paling berbahaya dihitungnya.

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Bagan Alir

Gambar 3.1 berikut ini merupakan diagram alir dalam penulisan Tugas Akhir alternatif perkuatan timbunan existing railway track STA 141+100 – 141+600 “Bojonegoro – Surabaya Pasar Turi”.





Gambar 3.1 Diagram Alir Tugas Akhir

### 3.1.1 Studi Literatur

Studi Literatur yang dimaksud adalah mengumpulkan bahan-bahan yang digunakan sebagai acuan dalam melakukan perencanaan. Bahan studi yang adakan digunakan dalam perencanaan ini adalah sebagai berikut :

1. Perhitungan perencanaan timbunan
2. Perhitungan perencanaan cerucuk sebagai perkuatan timbunan rel existing
3. Perhitungan perencanaan turap beton sebagai perkuatan timbunan rel existing
4. Perhitungan perencanaan *counterweight* sebagai perkuatan timbunan rel existing
5. Refrensi tentang pengoperasian perangkat lunak *plaxis* dan *geostudio*
6. Ringkasan yang menunjang beserta rumus-rumus yang mendukung



### 3.1.2 Pengumpulan dan Analisis Data

Data-data yang digunakan dalam perencanaan perkuatan timbunan rel existing ini adalah data yang diperoleh dari instansi terkait.

Data tersebut meliputi :

1. Layout proyek dan peta topografi
2. Data pengujian tanah asli
3. Data hasil pengecekan stabilitas tanah timbunan
4. Data spesifikasi Cerucuk (*micropile*)
5. Data tanah quarry yang digunakan untuk perkuatan *counterweight*
6. Data spesifikasi Turap Beton

### 3.1.3 Perhitungan Perkuatan Tanah Timbunan Existing

Perencanaan perkuatan alternatif berikut :

- a. Perkuatan timbunan dengan metode Cerucuk (*micropile*)
  1. Menentukan jumlah cerucuk yang efektif
  2. Menentukan jarak pemasangan cerucuk yang efektif
  3. Menentukan panjang cerucuk yang efektif
- b. Perkuatan timbunan dengan metode *Counterweight*
  1. Menentukan volume timbunan yang efektif
  2. Menentukan dimensi timbunan yang efektif
- c. Perkuatan timbunan dengan menggunakan Turap Beton
  1. Menentukan dimensi turap beton yang efektif serta panjang angkur untuk turap *freestanding*
  2. Menentukan jumlah turap beton yang efektif
  3. Menentukan jarak pemasangan turap beton yang efektif

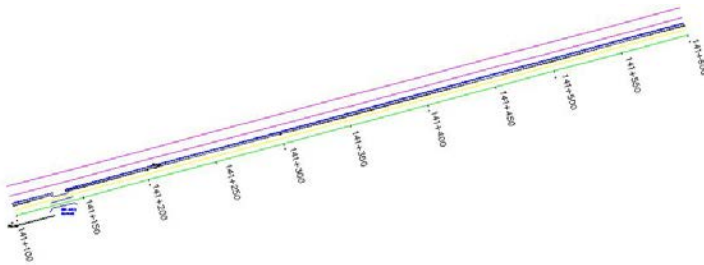
### 3.1.4 Perhitungan Biaya

Menghitung biaya material yang dibutuhkan dalam perkuatan tanah timbunan existing dengan metode Cerucuk (*micropile*), *Counterweight*, dan Turap Beton serta menentukan biaya yang paling minimum.

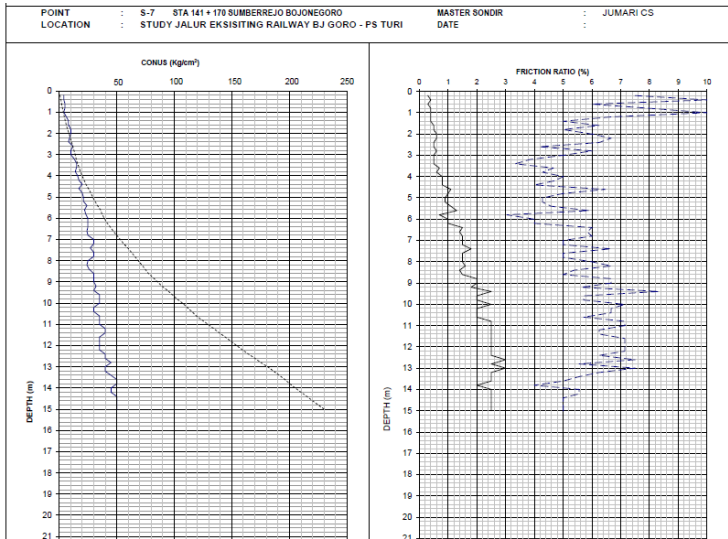
### 3.1.5 Kesimpulan

Pada bab ini dipaparkan pemilihan metode yang paling efektif sebagai perkuatan tanah timbunan pada STA 141+100 – 141+600 dengan memperhatikan aspek biaya.

### 3.1.6 Lampiran



Gambar 3.2 Layout STA 141+100 – 141+600



### Gambar 3.3 Sondir STA 141+100 - 141+600

### 3.2 Jadwal Pengerjaan Tugas Akhir

Agar pengerjaan tugas akhir dapat terselesaikan tepat waktu, maka dibuat rencana penjadwalan pengerjaan tugas akhir seperti pada **Tabel 3.1** berikut

**Tabel 3.1** Rencana Jadwal Pengerjaan Tugas Akhir

[illegible]

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB IV

### DATA PERENCANAAN DAN ANALISIS

Perencanaan perkuatan timbunan rel kereta api lintas Bojonegoro – Surabaya Pasar Turi pada Tugas Akhir ini dilakukan berdasarkan data sebagai berikut:

1. Data tanah hasil penyelidikan tanah yaitu data tanah point S-7 STA 141+170 Jalur Eksisting, Sumberrejo Bojonegoro.
2. Zonasi wilayah STA 141+100-141+300, STA 141+300-141+450, dan STA 141+450-141+600.
3. *Layout* rencana awal timbunan (potongan melintang).
4. Data spesifikasi cerucuk.
5. Data spesifikasi timbunan tambahan (*counter weight*)
6. Data spesifikasi turap beton *freestanding* dan turap beton berjangkar.

#### 4.1. Data Tanah

Data tanah yang dipergunakan dalam Tugas Akhir ini adalah data hasil pekerjaan penyelidikan tanah oleh Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS untuk proyek perkuatan timbunan rel eksisting *railway track* Bojonegoro – Surabaya Pasar Turi. Data tanah dasar diketahui pada point S-7 STA 141+170 Jalur Eksisting, terletak di desa Sumberrejo Bojonegoro. Data tanah ditampilkan dalam bentuk Sondir (*cone penetration test*) dan dilampirkan pada Lampiran 1.

Metode yang kemudian digunakan untuk melengkapi nilai parameter-parameter tanah adalah dengan korelasi. Data tanah dasar yang diketahui dari hasil laboratorium berupa data sondir harus di korelasikan dulu ke nilai N-SPT. Dari grafik data sondir didapatkan nilai  $q_c$  ( $\text{kg/cm}^2$ ) dan nilai *friction ratio* atau  $R_f$  (%). Setelah itu data tersebut dipakai untuk mengklasifikasikan jenis tanah dengan menggunakan Gambar 2.5 (Robertson dan Campanella, 1983). Setelah itu digunakan rumus interpolasi dari data  $q_c$  ( $\text{kg/cm}^2$ ) untuk mendapatkan nilai N-SPT dengan

menggunakan Tabel 2.1 (Mochtar, 2012). Sedangkan nilai kohesivitas tanah ( $C_u$ ) didapatkan dari hubungan antara nilai N-SPT dengan nilai  $C_u$  pada Gambar 2.6 (Helmy et. al, 2012). Untuk korelasi dalam mencari nilai  $\gamma_{sat}$  menggunakan rumus interpolasi pada Table 2.2 (Bowles, 1984). Nilai modulus young dan poisson ratio menggunakan Tabel 2.3 (Braja M Das, 1984), nilai *friction angle* atau sudut geser tanah ( $\phi$ ) sesuai jenis tanah dasar yang termasuk lempung soft maka nilai sudut gesernya rendah untuk amanya dalam perhitungan nilai sudut geser yang digunakan adalah 0, nilai Spesific Grafity didapatkan dari Tabel 2.4 (Hardiyatmo, 1992) dan nilai  $\gamma_{dry}$  menggunakan Tabel 2.5 (Hillel, 1980). Hasil rekap data tanah dasar dapat dilihat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Rekapitulasi Data Tanah

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N SPT	$\gamma$ ( $t/m^3$ )		Strength		V	C'(kg/cm <sup>2</sup> )	E (t/cm <sup>2</sup> )
			$\gamma_{sat}$	$\gamma_{dry}$	$\Phi$ (°)	$C_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )			
0-5 m	Clays	3.00	1.60	1.2	0	0.20	0.20	0.13	0.1
5-6.2 m	Clayey silts	6.00	1.70	1.23	0	0.38	0.20	0.25	0.3
6.2-13.6 m	Clays	9.00	1.70	1.2	0	0.53	0.20	0.35	0.3
13.6-15 m	Clayey silts	13.00	1.80	1.23	0	0.68	0.20	0.45	0.5

(Sumber : Hasil Analisa Data Tanah Asli)

#### 4.2 Data Material Perkuatan Timbunan

Material yang digunakan untuk perbaikan tanah dasar dan timbunan pada Tugas Akhir ini menggunakan 4 jenis alternatif perkuatan yaitu cerucuk, *counter weight*, turap beton *free standing*, dan turap beton berjangkar.

#### A. Cerucuk

Cerucuk yang digunakan adalah cerucuk beton *Prestressed concrete circle pile*. Brosur yang digunakan adalah dari PT. WIKA BETON ditampilkan pada Lampiran 3.

#### B. Counter Weight

*Counter Weight* yang digunakan adalah timbunan pilihan dengan persyaratan, *unit weight embankment material* 1,65 ton/m<sup>3</sup>, *unit weight embankment material saturation* 1,8 ton/m<sup>3</sup>, *internal angle friction effective* 30<sup>0</sup>, *Cohesion* 0, modulus young 0.61 t/cm<sup>2</sup>, diameter butiran terbesar 5 cm, material timbunan harus merupakan kombinasi dari dominan pasir (sand) minimum 50% dan lanau + lempung (silt dan clay) maximum 20% dengan nilai Plasticity Index 10% maximum untuk suatu timbunan yang diatasnya ada beban structural.

#### C. Turap *Free Standing*

Turap *Free Standing* yang digunakan adalah turap beton *free standing* jenis *corrugated pc sheet pile* merk W600 A1000. Brosur yang digunakan adalah dari PT. WIKA BETON ditampilkan pada Lampiran 3.

#### D. Turap Berjangkar

Turap berjangkar yang digunakan adalah turap beton berjangkar merk W400 A1000. Brosur yang digunakan adalah dari PT. WIKA BETON ditampilkan pada Lampiran 3.

### 4.3 Data Rel Kereta Api

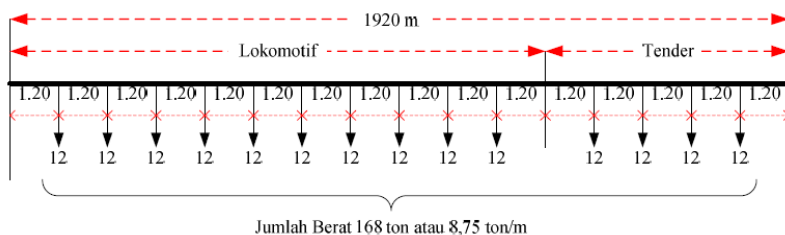
#### A. Pembebanan Kereta Api Maksimum

Skema pembebanan kereta api yang digunakan dalam perencanaan ini di dasarkan pada Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia NOMOR: 60 Tahun 2012. Skema Pembebanan 100% RM 1921 terdapat pada Tabel 4.2.

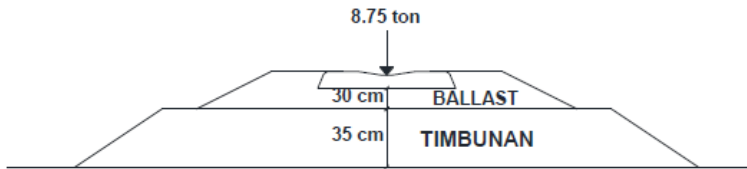
**Tabel 4.2** Skema Pembebanan Kereta Api

JUMLAH GANDAR	SKEMA PEMBEBANAN 100% RM 1921
1 GANDAR	
2 GANDAR	
3 GANDAR	
4 ATAU 5 GANDAR	
6 ATAU 7 GANDAR	
MENGUNAKAN GERBONG DENGAN NILAI TIDAK TERTENTU <sup>1</sup> Beban Total = 24 ton atau 5 ton/m	
> 8 GANDAR Beban Total 168 ton atau 8.75 ton/m <sup>1</sup>	

Dari beberapa beban yang disajikan pada Peraturan Menteri didapatkan beban maksimum untuk kereta api yaitu dengan jumlah gandar > 8 dengan beban total 168 ton atau sebesar 8,75 ton/m' seperti pada gambar dibawah ini :

**Gambar 4.1** Skema Pembebanan Kereta Api dengan Gandar Lebih Dari 8





**Gambar 4.2** Pembebanan Kereta Api

#### B. Data Material Timbunan Rel Kereta Api

Material timbunan rel kereta api disini terdiri dari Ballast dan Timbunan (Sub-Ballast). Lapisan ballast dan sub-ballast pada dasarnya adalah terusan dari lapisan tanah dasar dan terletak di daerah yang mengalami konsentrasi tegangan yang terbesar akibat lalu lintas kereta api pada jalan rel, oleh karena itu material pembentukanya harus sangat terpilih.

##### 1. Sub-Ballast

Adapun data tanah material sub-ballast dikorelasikan dengan beberapa tabel. Sub-Ballast merupakan kerikil dengan massa jenis yang tidak terlalu tinggi jika dibandingkan dengan ballast yang ditumpuk dibawah lapisan ballast maka korelasi material sub-ballast (kerikil) untuk mencari nilai sudut geser menggunakan Tabel 2.6 (Teng, 1962). Sedangkan untuk mencari nilai  $\gamma_d$  dan  $\gamma_{sat}$  menggunakan Tabel 2.7 (Biarez dan Favre, 2012). Korelasi jenis tanah kerikil ke modulus young dan poisson ratio menggunakan Tabel 2.8 (Braja M Das, 1974). Maka didapat data material sub-ballast yang memenuhi persyaratan perencanaan pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Parameter Tanah untuk Sub-Ballast

$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )		Strength				
$\gamma_{sat}$	$\gamma_{dry}$	$\Phi$ (°)	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	V	C(kg/cm <sup>2</sup> )	E (t/cm <sup>2</sup> )
2.32	2.20	41	0.00	0.20	0	1.4

## 2. Ballast

Lapisan ballast pada dasarnya adalah terusan dari lapisan sub-ballast, dan terletak di daerah yang mengalami konsentrasi tegangan yang terbesar akibat lalu lintas kereta pada jalan rel yang berfungsi untuk meneruskan dan menyebarkan beban bantalan ke sub-ballast material pembentuk ballast harus memenuhi persyaratan berikut.

- Kemiringan lereng lapisan ballast atas tidak boleh lebih curam dari 1:2
- Bahan ballast atas dihampar hingga mencapai samadengan elevasi bantalan.
- Ballast harus terdiri dari batu pecah (25-60) mm dan memiliki kapasitas ketahanan yang baik, ketahanan gesek yang tinggi dan mudah dipadatkan.
- Material ballast harus bersudut banyak dan tajam.
- Porositas maksimum 3%
- Kuat tekan rata-rata maksimum  $1000 \text{ kg/cm}^2$ .
- *Specific gravity* minimum 2,6
- Kandungan tanah, lumpur dan organik maksimum 0,5%.
- Kandungan minyak maksimum 0,2%.
- Keusan ballast sesuai dengan test *Los Angeles* tidak boleh lebih dari 25%.

Dengan aturan diatas maka data tanah material ballast yang merupakan kerikil pilihan dengan massa jenis tinggi yang ditumpuk diatas lapisan sub-ballast maka korelasi material sub-ballast (kerikil) untuk mencari nilai sudut geser menggunakan Tabel 2.6 (Teng, 1962). Sedangkan untuk mencari nilai  $\gamma_d$  dan  $\gamma_{sat}$  menggunakan Tabel 2.7 (Biarez dan Favre, 2012). Korelasi jenis tanah kerikil ke modulus young dan poisson ratio menggunakan Tabel 2.8 (Braja M Das, 1974). Maka didapat data material sub-ballast yang memenuhi persyaratan perencanaan pada Tabel 4.3. Maka didapatkan data material ballast yang memenuhi persyaratan perencanaan pada Tabel 4.4.

**Tabel 4.4** Parameter Tanah untuk Ballast

$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )		Strength				
$\gamma_{sat}$	$\gamma_{dry}$	$\Phi$ (°)	$C_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	V	$C'$ (kg/cm <sup>2</sup> )	E (t/cm <sup>2</sup> )
2.64	2.6	40	0.00	0.20	0	1.65

## 3. Bantalan

Bantalan berfungsi untuk meneruskan beban kereta api dan berat konstruksi jalan rel ke ballast, mempertahankan lebar jalan rel dan stabilitas ke arah luar jalan rel. Bantalan yang digunakan adalah bantalan beton dengan persyaratan sebagai berikut.

Panjang : 2000 mm

Lebar : 260 mm

Tinggi : 220

$f_c'$  beton : 600 kg/cm<sup>2</sup>

E beton :  $4700\sqrt{f_c} = 1.151 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup>

Poisson ratio : 0.2

## 4. Timbunan Existing

Timbunan dibawah ballast berupa timbunan pilihan yang berupa hasil dari galian tanah (bukan sirtu) spesifikasi pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Data Parameter Timbunan Existing

$\gamma_{sat}$	$\gamma_{dry}$	$\Phi$ (°)	$C_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	V	$C'$ (kg/cm <sup>2</sup> )	E (t/cm <sup>2</sup> )
1.70	1.6	15	0.1	0.20	0.07	0.5

## 5. Rel Kereta Api

Rel kereta api diatas ballast adalah baja dengan lebar 12 cm dan tinggi 10 cm dengan nilai modulus young (E) adalah  $2 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup>.

## 6. Perkuatan Rel Baru (yang sudah ada di lapangan)

Perkuatan rel yang sudah ada dilapangan pada rel new STA 141+100 – 141+600 adalah perkuatan turap beton (*sheet pile*) W600 A1000 sepanjang 12m. Spesifikasi turap beton terdapat pada Lampiran 3.

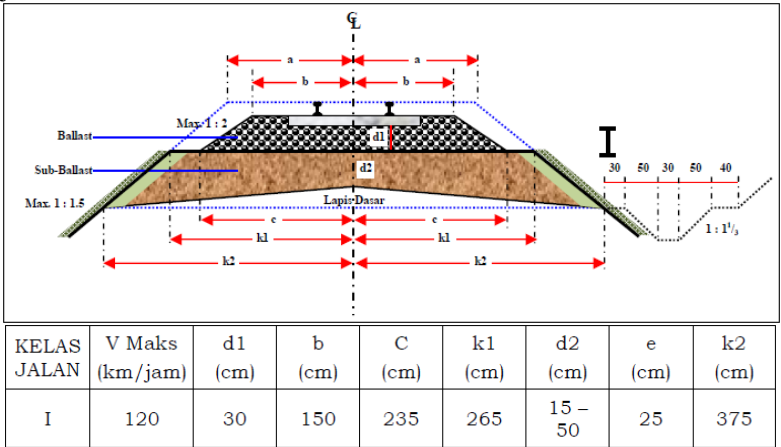
C. Desain Timbunan Rel Kereta Api

Desain Timbunan rel kereta api yang sudah ada didasarkan pada Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia NOMOR: 60 Tahun 2012. Kelas jalan rel yang digunakan untuk jalur rel Bojonegoro-Surabaya Pasar Turi adalah kelas jalan rel I. Berikut kriteria kelas jalan rel I :

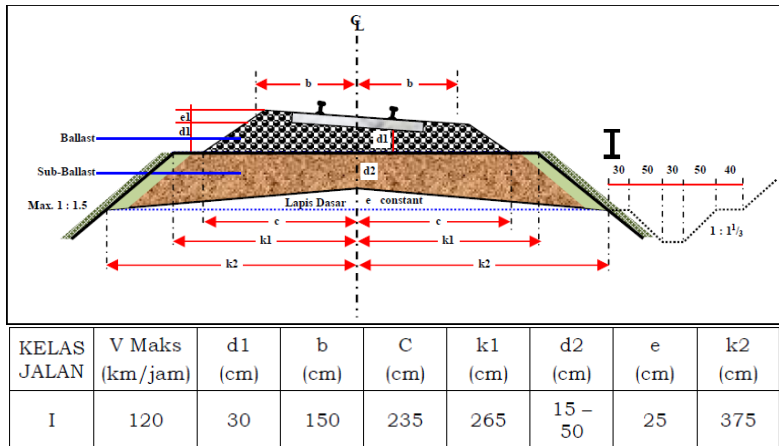
**Tabel 4.6** Kriteria Kelas Jalan Rel I Lebar Jalan Rel 1067 mm

Kelas Jalan	Daya Angkut Lintas (ton/tahun)	V maks (km/jam)	P maks gandar (ton)	Tipe Rel	Jenis Bantalan	Jenis Penambat	Tebal Balas Atas (cm)	Lebar Bahu Balas (cm)
					Jarak antar sumbu bantalan (cm)			
I	$> 20.10^8$	120	18	R.60/R.54	Beton 60	Elastis Ganda	30	60

Desain penampang melintang untuk lebar jalan rel 1067 mm kelas jalan rel I



**Gambar 4.3** Desain Penampang Melintang Jalan Rel Pada Bagian Lurus



**Gambar 4.4** Desain Penampang Melintang Jalan Rel Pada Bagian Miring

#### 4.4 Layout Topografi dan Potongan

Layout topografi dan potongan STA 141+100 – 141+600 dapat di lihat pada Lampiran 2.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

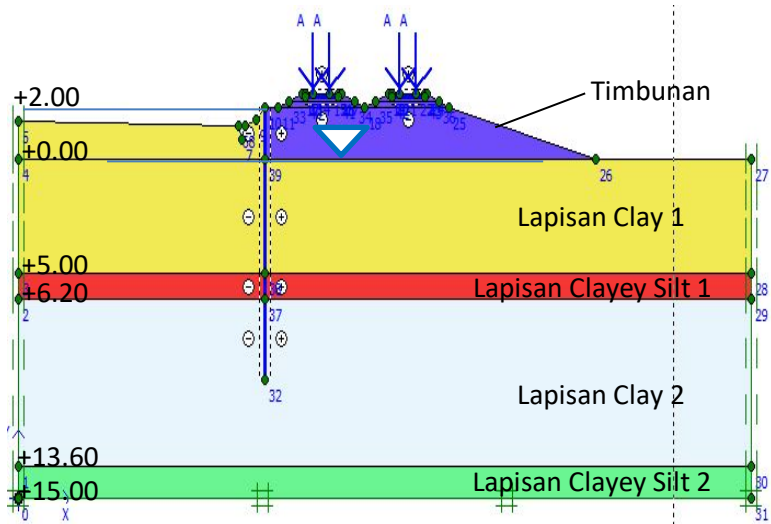
## **BAB V**

### **PERENCANAAN ALTERNATIF**

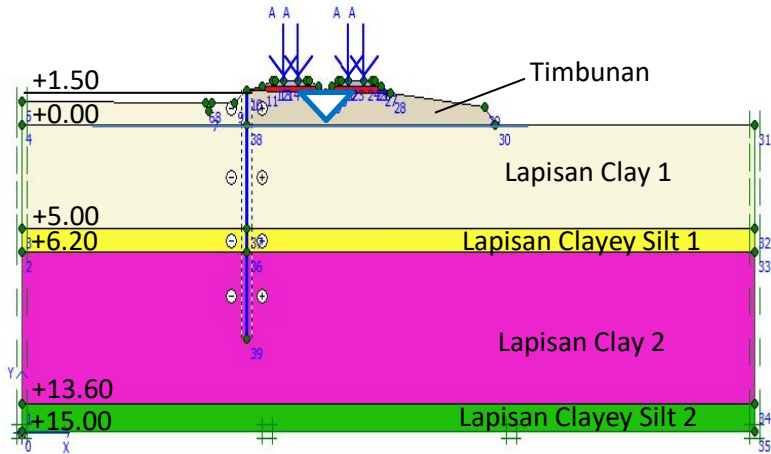
Dalam Bab V akan dijelaskan tentang analisis kelongsoran timbunan rel existing, perencanaan alternatif perkuatan dan perhitungan biaya perkuatan timbunan rel existing STA 141+100 – STA 141+600. Perencanaan alternatif perkuatan timbunan rel existing menggunakan 4 jenis alternatif perkuatan yaitu menggunakan turap *freestanding*, turap berjangkar, *counterweight*, dan cerucuk. Perhitungan detail terdapat pada Sub-Bab 5.1 sampai dengan 5.5.

#### **5.1 Analisis Kelongsoran Timbunan Rel Awal**

Analisis kelongsoran timbunan rel dilakukan sebelum penentuan alternative perkuatan yang akan dipasang. Analisis awal ini dilakukan untuk mengetahui penyebab kelongsoran dan mengetahui nilai *safety factor* pada timbunan existing. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan data tanah yang berasal dari uji sondir yang telah dibahas sebelumnya pada Bab IV. Analisis *safety factor* timbunan dilakukan pada 3 zona sebagai berikut yaitu zona 1 (STA 141+100 – 141+300) yang diwakili oleh STA 141+150, zona 2 (STA 141+300 – 141+450) yang diwakili oleh STA 141+350, dan zona 3 (STA 141+450 – 141+600) yang diwakili oleh STA 141+600 seperti yang terlihat pada Gambar 5.1 s/d 5.3. Pembagian ketiga zona tersebut berdasarkan bentuk geometri dan tinggi timbunan yang sama. Tiga titik STA terpilih tersebut dianggap mewakili dari setiap bentuk geometri pada STA 141+100 sampai dengan STA 141+600 dan selanjutnya akan di gunakan dalam analisis dan perencanaan perkuatan. Analisis pertama dilakukan untuk mengetahui penyebab kelongsoran. Kelongsoran pada tanah timbunan existing ini terjadi setelah pembangunan jalur rel *double track*. Hal ini berarti penyebab kelongsoran kemungkin karena adanya penambahan beban timbunan. Dengan menggunakan program bantu *GeoStudio* dilakukan analisis timbunan sebelum dibangunnya jalur rel *double track* dan didapatkan *safety factor* seperti pada Tabel 5.1.

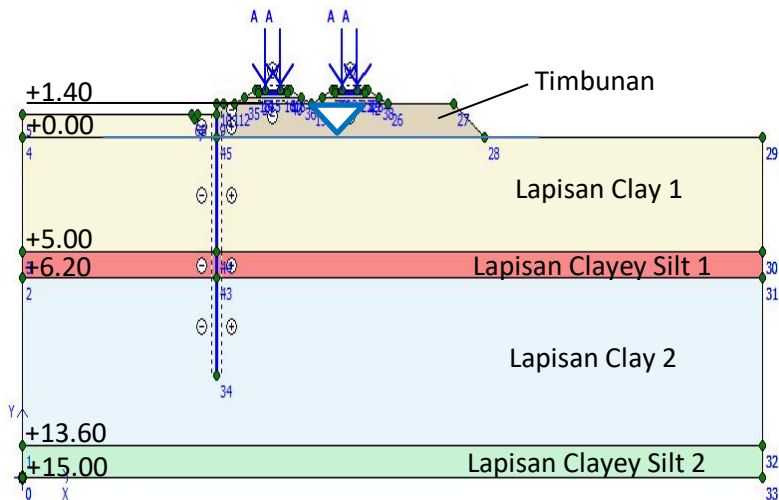


**Gambar 5.1** Layout STA 141+150 (Zona 1)



**Gambar 5.2** Layout STA 141+350 (Zona 2)





**Gambar 5.3** Layout STA 141+600 (Zona 3)

Analisis kedua dilakukan untuk mengecek *safety factor* setelah adanya pembangunan *double track*. Hasil *safety factor* pada analisis *double track* dapat dilihat pada Tabel 5.1. Analisis ini dilakukan berdasarkan data geometri seperti pada Gambar 5.1 s/d 5.3, dengan menerapkan beban kereta api sebesar  $8,75 \text{ t/m}^1$  dan lapisan ballast setebal 0,35 m serta sub-ballast 0,3 m. Hasil analisis selengkapanya pada STA 141+150, STA 141+350, dan STA 141+600 dapat dilihat pada Lampiran 4.

**Tabel 5.1** Nilai *Safety Factor* pada STA yang Ditinjau Sebelum Pembangunan Timbunan *Double Track*

Titik	SF Sebelum Pembangunan Double Track	SF Setelah Pembangunan Double Track
STA 141+150	1.3	0.99
STA 141+350	1.35	1.02
STA 141+600	1.39	1.06

Berdasarkan Tabel 5.1 dan Tabel 5.2 terlihat bahwa ke longSORan yang terjadi pada tanah timbunan existing akibat adanya beban tambahan dari timbunan *double track*. Pada Tabel 5.2 *safety factor* untuk lokasi STA 141+150 ternyata kurang dari satu, hal ini menunjukkan bahwa lokasi tersebut mengalami kelongsoran sesuai dengan kenyataan yang ada di lapangan pada Gambar 1.4 dan Gambar 1.5. Kondisi di lapangan seperti menunjukkan bahwa terjadi pergerakan horizontal yang terlihat dengan kemiringan beberapa tiang listrik di badan timbunan. Apabila dibiarkan, ditambah dengan adanya beban kereta api maka kelongsoran besar suatu saat dapat saja terjadi. Oleh karena itu, zona-zona tersebut memerlukan perkuatan timbunan untuk dapat mencapai *safety factor* yang direncanakan sesuai peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 tahun 2012 yakni sebesar 1,5. Selanjutnya dari hasil analisis stabilitas ini maka akan direncanakan alternatif perkuatan timbunan rel existing.

Alternatif yang digunakan antara lain adalah:

- a. Turap Beton
- b. Turap Beton dengan Angkur
- c. Counterweight
- d. Cerucuk

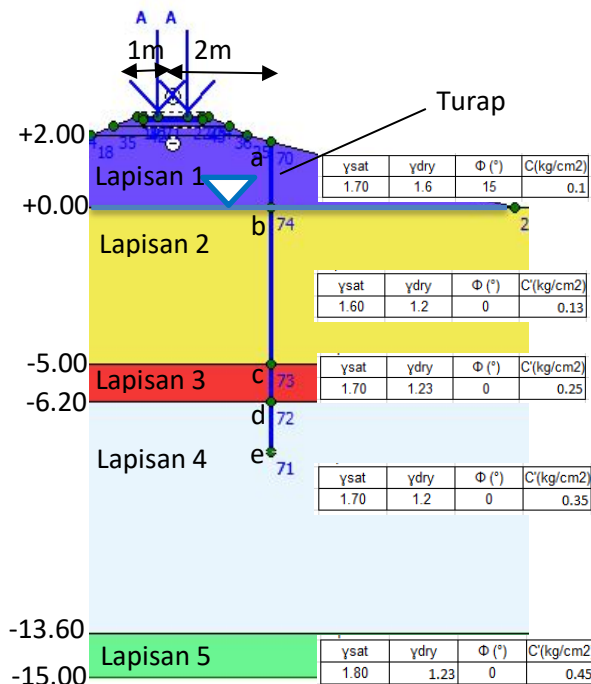
Perhitungan perencanaan perkuatan dibahas lebih detail pada Sub Bab 5.2 s/d 5.4.

## **5.2 Perencanaan Perkuatan Timbunan dengan Turap**

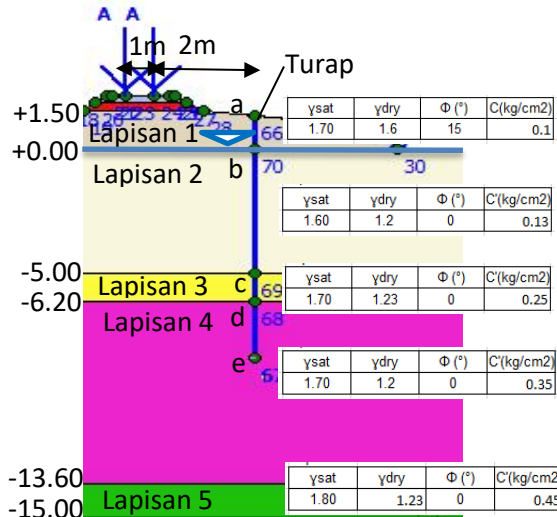
Alternatif perkuatan timbunan dengan turap pada STA 141+100 – 141+600 menggunakan 2 jenis perkuatan turap, yaitu perkuatan turap tanpa angker dan perkuatan turap dengan angker. Untuk perkuatan turap tanpa angker menggunakan turap jenis W500 A1000, sedangkan untuk turap dengan angker menggunakan tipe turap W325 A1000, dengan ujung angker diberi grouting. Perhitungan perkuatan ini dilakukan dengan menggunakan 2 (dua) metode yaitu perhitungan manual dan untuk turap tanpa angker juga dianalisis menggunakan programbantu.

### 5.2.1 Perencanaan Turap Tanpa Angker

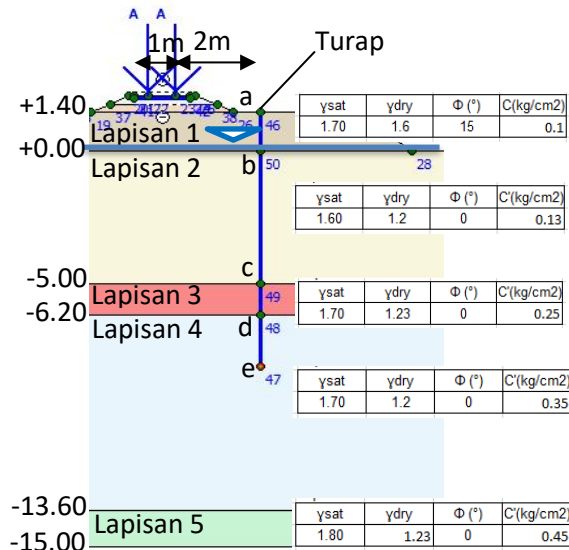
Perencanaan turap tanpa angker dengan perhitungan manual dilakukam berdasarkan pada geometri timbunan dan lapisan tanah pada STA 141+100 – 141+600 seperti yang terlihat pada Gambar 5.4 s/d 5.6 berikut.



**Gambar 5.4** Geometri Timbunan dan Letak Turap (Dimensi dalam Satuan Meter) STA 141+150



**Gambar 5.5** Geometri Timbunan dan Letak Turap (Dimensi dalam Satuan Meter) STA 141+600



**Gambar 5.6** Geometri Timbunan dan Letak Turap (Dimensi dalam Satuan Meter) STA 141+600

Pada perencanaan turap tanpa angker ini diasumsikan bahwa timbunan yang berada di sisi kanan turap dianggap tidak ada. Hal ini dimaksudkan untuk megabaikan tekanan pasif yang diakibatkan oleh timbunan sehingga hasilnya lebih aman.

Adapun tahapan dalam merencanakan turap tanpa angker adalah sebagai berikut :

#### 1. Menghitung Tegangan Horizontal Aktif dan Pasif.

Dalam menghitung tegangan horizontal aktif pasif diperhitungkan juga beban terpusat akibat kereta api dan beban bantalan rel yang merupakan beton dengan  $f_c' = 50$ . Untuk beban terpusat akan dihitung dengan menggunakan persamaan yang terdapat pada Gambar 2.16, hasil perhitungan tegangan horizontal untuk beban kereta api langsung berupa gaya yang ditampilkan pada Gambar 5.8 s/d 5.10. Sedangkan perhitungan tegangan horizontal aktif pasif dengan beban timbunan dan beban bantalan rel menggunakan Persamaan 2.11 dan 2.12, hasil perhitungan tegangan aktif pasif dapat dilihat pada Lampiran 4.

#### Contoh Perhitungan Pada Zona 1 Aktif

##### Lapisan I (Aktif)

- $\sigma'H$  atas  $= Ka1. \sigma'v1 - 2C.\sqrt{Ka1} = (0.59 \times 2.51) - (2 \times 0.67 \times \sqrt{0.59}) = 0.45 \text{ t/m}^2$
- $\sigma'H$  bawah  $= Ka1. \sigma'v2 - 2C.\sqrt{Ka1} = (0.59 \times 5.71) - (2 \times 0.67 \times \sqrt{0.59}) = 2.34 \text{ t/m}^2$

##### Lapisan II (Aktif)

- $\sigma'H$  atas  $= Ka2. \sigma'v2 - 2C.\sqrt{Ka2} = (1.0 \times 5.71) - (2 \times 1.30 \times \sqrt{1.0}) = 3.11 \text{ t/m}^2$
- $\sigma'H$  bawah  $= Ka2. \sigma'v3 - 2C.\sqrt{Ka2} = (1.0 \times 8.71) - (2 \times 1.30 \times \sqrt{1.0}) = 6.11 \text{ kN/m}^2$

## Lapisan III (Aktif)

- $\sigma'_{H \text{ atas}} = K_{a3} \cdot \sigma'_v3 - 2C \cdot \sqrt{K_{a3}} = (1.0 \times 8.71) - (2 \times 2.50 \times \sqrt{1.0}) = 3.71 \text{ t/m}^2$
- $\sigma'_{H \text{ bawah}} = K_{a3} \cdot \sigma'_v4 - 2C \cdot \sqrt{K_{a3}} = (1.0 \times 9.55) - (2 \times 2.50 \times \sqrt{1.0}) = 4.55 \text{ t/m}^2$

## Lapisan IV (Aktif)

- $\sigma'_{H \text{ atas}} = K_{a4} \cdot \sigma'_v4 - 2C \cdot \sqrt{K_{a4}} = (1.0 \times 9.55) - (2 \times 3.50 \times \sqrt{1.0}) = 2.55 \text{ t/m}^2$
- $\sigma'_{H \text{ bawah}} = K_{a4} \cdot \sigma'_v5 - 2C \cdot \sqrt{K_{a4}} = (1.0 \times 12.21) - (2 \times 3.50 \times \sqrt{1.0}) = 5.21 \text{ t/m}^2$

## Lapisan V (Aktif)

- $\sigma'_{H \text{ atas}} = K_{a5} \cdot \sigma'_v5 - 2C \cdot \sqrt{K_{a5}} = (1.0 \times 12.21) - (2 \times 3.50 \times \sqrt{1.0}) = 5.21 \text{ t/m}^2$
- $\sigma'_{H \text{ bawah}} = K_{a5} \cdot \sigma'_v6 - 2C \cdot \sqrt{K_{a5}} = (1.0 \times (12.21 + 0.70 \text{ d0})) - (2 \times 3.50 \times \sqrt{1.0}) = 5.21 + 0.70 \text{ d0 t/m}^2$

## Pasif

## Lapisan II (Pasif)

- $\sigma'_{H \text{ atas}} = K_{p2} \cdot \sigma'_v2 + 2C \cdot \sqrt{K_{p2}} = (1.0 \times 0) + (2 \times 1.30 \times \sqrt{1.0}) = 2.60 \text{ t/m}^2$
- $\sigma'_{H \text{ bawah}} = K_{p2} \cdot \sigma'_v3 + 2C \cdot \sqrt{K_{p2}} = (1.0 \times 3.0) + (2 \times 1.30 \times \sqrt{1.0}) = 5.60 \text{ t/m}^2$

## Lapisan III (Pasif)

- $\sigma'_{H \text{ atas}} = K_{p3} \cdot \sigma'_v3 + 2C \cdot \sqrt{K_{p3}} = (1.0 \times 3.0) + (2 \times 2.50 \times \sqrt{1.0}) = 8.00 \text{ t/m}^2$
- $\sigma'_{H \text{ bawah}} = K_{p3} \cdot \sigma'_v4 + 2C \cdot \sqrt{K_{p3}} = (1.0 \times 3.84) + (2 \times 2.50 \times \sqrt{1.0}) = 8.84 \text{ t/m}^2$

#### Lapisan IV (Pasif)

- $\sigma'H$  atas  $= Kp4. \sigma'v4 + 2C. \sqrt{Kp4} = (1.0 \times 3.84) + (2 \times 3.50 \times \sqrt{1.0}) = 10.84 \text{ t/m}^2$
- $\sigma'H$  bawah  $= Kp4. \sigma'v5 + 2C. \sqrt{Kp4} = (1.0 \times 6.50) + (2 \times 3.50 \times \sqrt{1.0}) = 13.50 \text{ t/m}^2$

#### Lapisan V (Pasif)

- $\sigma'H$  atas  $= Kp5. \sigma'v5 + 2C. \sqrt{Kp5} = (1.0 \times 6.50) + (2 \times 3.50 \times \sqrt{1.0}) = 13.50 \text{ t/m}^2$
- $\sigma'H$  bawah  $= Kp5. \sigma'v6 + 2C. \sqrt{Kp5} = (1.0 \times (6.50 + 0.70 \text{ d0})) + (2 \times 3.50 \times \sqrt{1.0}) = 13.50 + 0.70 \text{ d0 t/m}^2$

## 2. Mencari Nilai do.

Untuk mencari nilai do, setelah didapatkan tegangan horizontal aktif, selanjutnya dihitung gaya-gaya yang bekerja pada turap. Perhitungan gaya dimaksudkan untuk mendapatkan persamaan momen aktif dan pasif ditunjukkan pada Tabel 5.2 s/d 5.7. Perhitungan gaya dibedakan menjadi 2 bagian, yaitu perhitungan gaya dari tegangan horizontal aktif pasif akibat beban timbunan dan bantalan rel, dengan perhitungan gaya akibat beban kereta api. Sketsa gaya-gaya yang bekerja pada turap ditunjukkan pada Gambar 5.7 s/d 5.10.

#### Gaya Aktif Akibat Beban Bantalan Rel dan Timbunan

- $Pa 1 = (0.45 \times 2) \times (11 + d0) = 10 + 0.91 \text{ d0}$
- $Pa 2 = ((2.34 - 0.45) \times 2 \times 0.5) \times (10.67 + d0) = 20.1 + 1.88 \text{ d0}$
- $Pa 3 = (3.11 \times 5) \times (7.50 + d0) = 116.63 + 15.55 \text{ d0}$
- $Pa 4 = ((6.11 - 3.11) \times 5 \times 0.5) \times (6.67 + d0) = 50 + 7.5 \text{ d0}$
- $Pa 5 = (3.71 \times 1.2) \times (4.40 + d0) = 19.59 + 4.45 \text{ d0}$
- $Pa 6 = ((4.55 - 3.71) \times 1.2 \times 0.5) \times (4.20 + d0) = 2.12 + 0.5 \text{ d0}$
- $Pa 7 = (2.55 \times 3.8) \times (1.90 + d0) = 18.41 + 9.69 \text{ d0}$

- $Pa\ 8 = ((5.21 - 2.55) \times 3.8 \times 0.5) \times (1.27 + d0) = 6.40 + 5.05\ d0$
- $Pa\ 9 = (5.21 \times d0) \times (0.5\ d0) = 2.61\ d0^2$
- $Pa\ 10 = ((5.21 + 0.7\ d0 - 5.21) \times d0 \times 0.5) \times (0.33\ d0) = 0.12\ d0^3$

$$\text{Momen Aktif Total} = 243.25 + 45.54\ d0 + 2.61\ d0^2 + 0.12\ d0^3$$

Gaya Pasif Akibat Beban Bantalan Rel dan Timbunan

- $Pp\ 1 = (2.60 \times 5) \times (7.50 + d0) = 97.50 + 13.0\ d0$
- $Pp\ 2 = ((5.6 - 2.6) \times 5 \times 0.5) \times (6.67 + d0) = 50 + 7.5\ d0$
- $Pp\ 3 = (8.0 \times 1.2) \times (4.40 + d0) = 42.24 + 9.60\ d0$
- $Pp\ 4 = ((8.84 - 8.0) \times 1.2 \times 0.5) \times (4.20 + d0) = 2.12 + 0.5\ d0$
- $Pp\ 5 = (10.84 \times 3.8) \times (1.90 + d0) = 78.26 + 41.19\ d0$
- $Pp\ 6 = ((13.50 - 10.84) \times 3.8 \times 0.5) \times (1.27 + d0) = 6.40 + 5.05\ d0$
- $Pp\ 7 = (13.50 \times d0) \times (0.5\ d0) = 6.75\ d0^2$
- $Pp\ 8 = ((13.50 + 0.7\ d0 - 13.50) \times d0 \times 0.5) \times (0.33\ d0) = 0.12\ d0^3$

$$\text{Momen Pasif Total} = 276.52 + 76.85\ d0 + 6.75\ d0^2 + 0.12\ d0^3$$

Gaya Aktif Akibat Beban Kereta Api Roda 1 (Jarak 2m dari Turap)

$$m = X/H = 2/12 = 0.17 < 0.4 \text{ maka } R = 0.6\ H$$

$$Ph = 0.55\ Ql = 0.55 \times 8.75 = 4.8125\ \text{ton/m'}$$

$$\text{Maka momen akibat beban roda 1} = 34.65 + 2.88\ d0$$

Gaya Aktif Akibat Beban Kereta Api Roda 2 (Jarak 3m dari Turap)

$$m = X/H = 3/12 = 0.25 < 0.4 \text{ maka } R = 0.6\ H$$

$$Ph = 0.55\ Ql = 0.55 \times 8.75 = 4.8125\ \text{ton/m'}$$

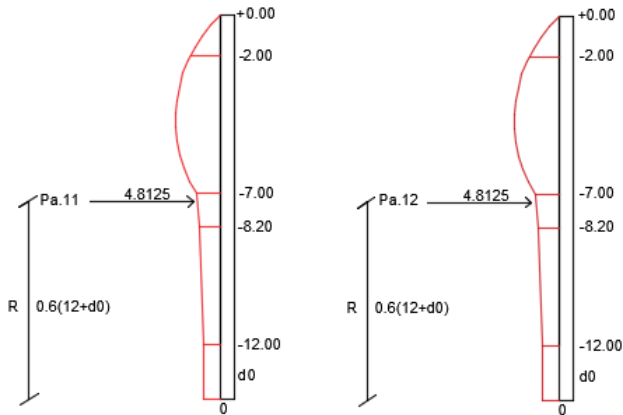
$$\text{Maka momen akibat beban roda 1} = 34.65 + 2.88\ d0$$

Hasil diagram tegangan dapat dilihat pada Gambar 5.8 s/d 5.10 sedangkan hasil perhitungan momen akibat beban roda kereta api dapat dilihat pada Tabel 5.5 s/d 5.7.

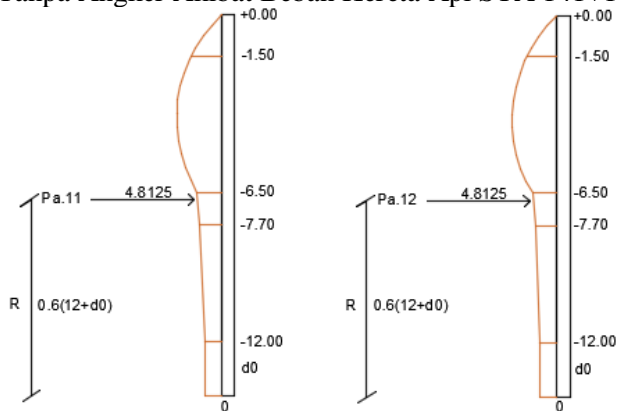


**Gambar 5.7** Sketsa Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Tanpa Angker Akibat Beban Timbunan dan Bantalan Rel: (a) STA 141+150; (b) STA 141+350; (c) STA 141+600

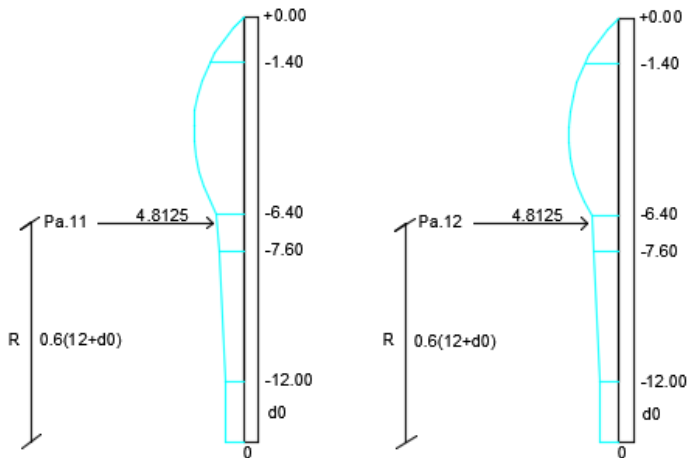
Dari hasil gaya horizontal yang bekerja akibat beban timbunan tanah dan beban bantalan rel yang ditunjukkan pada Gambar 5.7 akan dijumlahkan dengan gaya horizontal yang bekerja akibat beban kereta api yang ditunjukkan pada Gambar 5.8 s/d 5.10 untuk didapatkan persamaan momen total aktif dan pasif.



**Gambar 5.8** Sketsa Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Tanpa Angker Akibat Beban Kereta Api STA 141+150



**Gambar 5.9** Sketsa Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Tanpa Angker Akibat Beban Kereta Api STA 141+350



**Gambar 5.10** Sketsa Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Tanpa Angker Akibat Beban Kereta Api STA 141+600

Dari Gambar 5.7 s/d 5.10 didapatkan gaya horizontal aktif pasif dari semua beban, maka dilakukan perhitungan untuk mendapatkan persamaan momen  $\Sigma M = 0$  yang titik putar momenya berada pada dasar turap. Hasil perhitungan untuk mendapatkan persamaan momen  $\Sigma M = 0$  akibat beban timbunan dan bantalan rel ditunjukkan pada Tabel 5.2 s/d 5.4 dan akibat beban kereta api ditunjukkan pada Tabel 5.5 s/d 5.7.

**Tabel 5.2** Perhitungan Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Tanpa Angker dan Persamaan Momen Aktif Pasif untuk Beban Timbunan dan Beban Bantalan Rel STA 141+150

GAYA AKTIF	Ketebalan (m)	oh Aktif/Lebar (t/m <sup>2</sup> )	Gaya (ton)	Jarak ke o (m)	Momen (t.m)			
Pa.1	2	0.45	0.91	11.00	+ 1.00 do	10.00	+ 0.91 do	+
Pa.2	2	1.88	1.88	10.67	+ 1.00 do	20.10	+ 1.88 do	+
Pa.3	5	3.11	15.55	7.50	+ 1.00 do	116.63	+ 15.55 do	+
Pa.4	5	3.00	7.50	6.67	+ 1.00 do	50.00	+ 7.50 do	+
Pa.5	1.2	3.71	4.45	4.40	+ 1.00 do	19.59	+ 4.45 do	+
Pa.6	1.2	0.84	0.50	4.20	+ 1.00 do	2.12	+ 0.50 do	+
Pa.7	3.8	2.55	9.69	1.90	+ 1.00 do	18.41	+ 9.69 do	+
Pa.8	3.8	2.66	5.05	1.27	+ 1.00 do	6.40	+ 5.05 do	+
Pa.9	do	5.21	5.21 do	0.50 do			+ 2.61 do <sup>2</sup>	+
Pa.10	do	0.70 do	0.35 do <sup>2</sup>	0.33 do			+ 0.12 do <sup>3</sup>	+
Persamaan Momen Aktif =					243.25	+ 45.54 do	+ 2.61 do <sup>2</sup>	+ 0.12 do <sup>3</sup>

GAYA PASIF	Ketebalan (m)	oh Pasif/Lebar (t/m <sup>2</sup> )	Gaya (ton)	Jarak ke o (m)	Momen (t.m)			
Pp.1	5	2.60	13	7.50	+ 1.00 do	97.50	+ 13.00 do	+
Pp.2	5	3.00	7.50	6.67	+ 1.00 do	50.00	+ 7.50 do	+
Pp.3	1.2	8.00	9.60	4.40	+ 1.00 do	42.24	+ 9.60 do	+
Pp.4	1.2	0.84	0.50	4.20	+ 1.00 do	2.12	+ 0.50 do	+
Pp.5	3.8	10.84	41.19	1.90	+ 1.00 do	78.26	+ 41.19 do	+
Pp.6	3.8	2.66	5.05	1.27	+ 1.00 do	6.40	+ 5.05 do	+
Pp.7	do	13.50	13.50 do	0.50 do			+ 6.75 do <sup>2</sup>	+
Pp.8	do	0.70 do	0.35 do <sup>2</sup>	0.33 do			+ 0.12 do <sup>3</sup>	+
Persamaan Momen Pasif =					276.52	+ 76.85 do	+ 6.75 do <sup>2</sup>	+ 0.12 do <sup>3</sup>

**Tabel 5.3** Perhitungan Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Tanpa Angker dan Persamaan Momen Aktif Pasif untuk Beban Timbunan dan Beban Bantalan Rel STA 141+350

GAYA AKTIF	Ketebalan (m)	oh Aktif/Lebar (t/m <sup>2</sup> )	Gaya (ton)	Jarak ke o (m)	Momen (t.m)			
Pa.1	1.5	0.45	0.68	11.25	+ 1.00 do	7.67	+ 0.68 do	+
Pa.2	1.5	1.41	1.06	11.00	+ 1.00 do	11.66	+ 1.06 do	+
Pa.3	5	2.31	11.55	8.00	+ 1.00 do	92.40	+ 11.55 do	+
Pa.4	5	3.00	7.50	7.17	+ 1.00 do	53.75	+ 7.50 do	+
Pa.5	1.2	2.91	3.49	4.90	+ 1.00 do	17.11	+ 3.49 do	+
Pa.6	1.2	0.84	0.50	4.70	+ 1.00 do	2.37	+ 0.50 do	+
Pa.7	4.3	1.75	7.53	2.15	+ 1.00 do	16.18	+ 7.53 do	+
Pa.8	4.3	3.01	6.47	1.43	+ 1.00 do	9.28	+ 6.47 do	+
Pa.9	do	4.76	4.76 do	0.50 do			+ 2.38 do <sup>2</sup>	+
Pa.10	do	0.70 do	0.35 do <sup>2</sup>	0.33 do			+ 0.12 do <sup>3</sup>	+
Persamaan Momen Aktif =					210.42	+ 38.78 do	+ 2.38 do <sup>2</sup>	+ 0.12 do <sup>3</sup>

GAYA PASIF	Ketebalan (m)	oh Pasif/Lebar (t/m <sup>2</sup> )	Gaya (ton)	Jarak ke o (m)	Momen (t.m)			
Pp.1	5	2.60	13.00	8.00	+ 1.00 do	104.00	+ 13.00 do	+
Pp.2	5	3.00	7.50	7.17	+ 1.00 do	53.75	+ 7.50 do	+
Pp.3	1.2	8.00	9.60	4.90	+ 1.00 do	47.04	+ 9.60 do	+
Pp.4	1.2	0.84	0.50	4.70	+ 1.00 do	2.37	+ 0.50 do	+
Pp.5	4.3	10.84	46.61	2.15	+ 1.00 do	100.22	+ 46.61 do	+
Pp.6	4.3	3.01	6.47	1.43	+ 1.00 do	9.28	+ 6.47 do	+
Pp.7	do	13.85	13.85 do	0.50 do			+ 6.93 do <sup>2</sup>	+
Pp.8	do	0.70 do	0.35 do <sup>2</sup>	0.33 do			+ 0.12 do <sup>3</sup>	+
Persamaan Momen Pasif =					316.65	+ 83.69 do	+ 6.93 do <sup>2</sup>	+ 0.12 do <sup>3</sup>

**Tabel 5.4** Perhitungan Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Tanpa Angker dan Persamaan Momen Aktif Pasif untuk Beban Timbunan dan Beban Bantalan Rel STA 141+600

GAYA AKTIF		Ketebalan (m)	dh Aktif/Lebar (t/m <sup>2</sup> )	Gaya (ton)	Jarak ke o (m)		Momen (t.m)			
Pa.1		1.4	0.45	0.64	11.30	+ 1.00 do	7.19 + 0.64 do	+		+
Pa.2		1.4	1.32	0.92	11.07	+ 1.00 do	10.22 + 0.92 do	+		+
Pa.3		5	2.15	10.75	8.10	+ 1.00 do	87.08 + 10.75 do	+		+
Pa.4		5	3.00	7.50	7.27	+ 1.00 do	54.50 + 7.50 do	+		+
Pa.5		1.2	2.75	3.30	5.00	+ 1.00 do	16.50 + 3.30 do	+		+
Pa.6		1.2	0.84	0.50	4.80	+ 1.00 do	2.42 + 0.50 do	+		+
Pa.7		4.4	1.59	7.00	2.20	+ 1.00 do	15.39 + 7.00 do	+		+
Pa.8		4.4	3.08	6.78	1.47	+ 1.00 do	9.94 + 6.78 do	+		+
Pa.9		do	4.67	4.67 do	0.50 do			+	2.34 do <sup>2</sup>	+
Pa.10		do	0.70 do	0.35 do <sup>2</sup>	0.33 do			+		0.12 do <sup>3</sup>
Persamaan Momen Aktif =							203.23 + 37.39 do	+	2.34 do <sup>2</sup>	0.12 do <sup>3</sup>

GAYA PASIF		Ketebalan (m)	dh Pasif/Lebar (t/m <sup>2</sup> )	Gaya (ton)	Jarak ke o (m)		Momen (t.m)			
Pp.1		5	2.60	13	8.10	+ 1.00 do	105.30 + 13.00 do	+		+
Pp.2		5	3.00	7.50	7.27	+ 1.00 do	54.50 + 7.50 do	+		+
Pp.3		1.2	8.00	9.60	5.00	+ 1.00 do	48.00 + 9.60 do	+		+
Pp.4		1.2	0.84	0.50	4.80	+ 1.00 do	2.42 + 0.50 do	+		+
Pp.5		4.4	10.84	47.70	2.20	+ 1.00 do	104.93 + 47.70 do	+		+
Pp.6		4.4	3.08	6.78	1.47	+ 1.00 do	9.94 + 6.78 do	+		+
Pp.7		do	13.92	13.92 do	0.50 do			+	6.96 do <sup>2</sup>	+
Pp.8		do	0.70 do	0.35 do <sup>2</sup>	0.33 do			+		0.12 do <sup>3</sup>
Persamaan Momen Pasif =							325.09 + 85.08 do	+	6.96 do <sup>2</sup>	0.12 do <sup>3</sup>

**Tabel 5.5** Perhitungan Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Tanpa Angker dan Persamaan Momen Aktif Pasif Akibat Beban Kereta Api STA 141+150

Persamaan Aktif Beban 1(jarak 2m dari turap) $m = 0.17 < 0.4 R = 0.6H$				
Aktif				
Ph = 0.55 Ql	4.8125			
Momen = Ph	34.65	+	2.8875	do
Persamaan Aktif Beban 2(jarak 3m dari turap) $m = 0.25 < 0.4 R = 0.6H$				
Aktif				
Ph = 0.55 Ql	4.8125			
Momen = Ph	34.65	+	2.8875	do

**Tabel 5.6** Perhitungan Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Tanpa Angker dan Persamaan Momen Aktif Pasif Akibat Beban Kereta Api STA 141+350

Persamaan Aktif Beban 1(jarak 2m dari turap) $m = 0.17 < 0.4$ $R = 0.6H$				
Aktif				
Ph = 0.55 Ql	4.8125			
Momen = Ph	34.65	+	2.8875	do
Persamaan Aktif Beban 2(jarak 3m dari turap) $m = 0.25 < 0.4$ $R = 0.6H$				
Aktif				
Ph = 0.55 Ql	4.8125			
Momen = Ph	34.65	+	2.8875	do

**Tabel 5.7** Perhitungan Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Tanpa Angker dan Persamaan Momen Aktif Pasif Akibat Beban Kereta Api STA 141+600

Persamaan Aktif Beban 1(jarak 2m dari turap) $m = 0.17 < 0.4$ $R = 0.6H$				
Aktif				
Ph = 0.55 Ql	4.8125			
Momen = Ph	34.65	+	2.8875	do
Persamaan Aktif Beban 2(jarak 3m dari turap) $m = 0.25 < 0.4$ $R = 0.6H$				
Aktif				
Ph = 0.55 Ql	4.8125			
Momen = Ph	34.65	+	2.8875	do

Hasil dari kedua persamaan pada Tabel 5.2 s/d 5.4 dan 5.5 s/d 5.7 dijumlahkan maka akan didapatkan persamaan aktif pasif yang digunakan untuk mencari panjang d0. Persamaan momen aktif dan pasif total dapat dilihat pada Tabel 5.8.

**Tabel 5.8** Perhitungan Persamaan Momen  $\Sigma M = 0$  pada Turap Tanpa Angker : (a) STA 141+150; (b) STA 141+350; (c) STA 141+600

(a)

Persamaan Momen							
AKTIF	0.12 do <sup>3</sup>	+	2.61 do <sup>2</sup>	+	51.32 do	+	312.55 = 0
PASIF	0.12 do <sup>3</sup>	+	6.75 do <sup>2</sup>	+	76.85 do	+	276.52 = 0
TOTAL	0.00 do <sup>3</sup>	+	-4.15 do <sup>2</sup>	+	-25.53 do	+	36.02 = 0
TOTAL PANJANG TURAP (m) :							14.00

(b)

Persamaan Momen							
AKTIF	0.12 do <sup>3</sup>	+	2.38 do <sup>2</sup>	+	44.56 do	+	279.72 = 0
PASIF	0.12 do <sup>3</sup>	+	6.93 do <sup>2</sup>	+	83.69 do	+	316.65 = 0
TOTAL	0.00 do <sup>3</sup>	+	-4.55 do <sup>2</sup>	+	-39.13 do	+	-36.93 = 0
TOTAL PANJANG TURAP (m) :							12.00

(c)

Persamaan Momen							
AKTIF	0.12 do <sup>3</sup>	+	2.34 do <sup>2</sup>	+	43.16 do	+	272.53 = 0
PASIF	0.12 do <sup>3</sup>	+	6.96 do <sup>2</sup>	+	85.08 do	+	325.09 = 0
TOTAL	0.00 do <sup>3</sup>	+	-4.63 do <sup>2</sup>	+	-41.92 do	+	-52.55 = 0
TOTAL PANJANG TURAP (m) :							12.00

Dari ketiga persamaan yang didapatkan dari Tabel 5.8 maka dicari faktor dari persamaan tersebut, dan didapatkan panjang d0.

### 3. Menghitung Panjang Total Turap.

Setelah menghitung faktor dari persamaan pangkat tiga pada Tabel 5.8, maka didapatkan nilai d0 untuk ketiga STA adalah 0 m. Nilai d0 ini kemudian dikalikan dengan angka keamanan, SF yaitu 1,2 lalu dijumlahkan dengan tebal lapisan tanah yang ada di atasnya. Sehingga total panjang turap yang dibutuhkan pada zona satu 14 m, zona dua 12 m, dan zona tiga 12 m. Karena pada peraturan SF yang diminta adalah 1,5 maka perlu adanya kontrol menggunakan *software* untuk mengetahui berapa SF yang dihasilkan oleh perkuatan turap beton tersebut.

#### 4. Menentukan Jumlah Turap yang akan Dipasang.

Jumlah turap yang akan dipasang ditentukan dari perbandingan antara *section modulus* yang terjadi akibat momen yang bekerja pada turap dibandingkan dengan *section modulus* dari jenis turap yang digunakan. Berikut akan diberikan contoh perhitungan jumlah turap di STA 141+150:

Momen maksimum yang bekerja pada turap adalah :

$$\Sigma Mx = -4,15x^2 - 25,53x - 36,02;$$

dimana x adalah do.

Dari perhitungan  $\frac{dy.\Sigma Mx}{dx} = 0$  diperoleh nilai  $x = -3,43$  m

Nilai x ini kemudian disubstitusi ke persamaan  $\Sigma Mx$  sehingga diperoleh momen maksimal ( $M_{max}$ ) sebesar 75,34 ton.m = 7533757.089 kg.cm.

Nilai *section modulus* akibat momen yang bekerja didapatkan dengan membagi  $M_{max}$  dengan tegangan ijin, yakni sebesar 1500 kg/cm<sup>2</sup>, sehingga diperoleh *section modulus* sebesar 5022.5 cm<sup>3</sup>.

Dikarenakan *section modulus* turap *Corrugated Type W-500 A1000* (Lampiran 3) adalah sebesar 18494 cm<sup>3</sup> maka hanya dibutuhkan 1 buah turap tiap meter panjang melintang lereng. Perhitungan lengkap jumlah turap yang dibutuhkan dapat dilihat pada Lampiran 4.

Nilai  $d_0$  untuk zona 2 dan 3 adalah 0 m, karena gaya aktif yang bekerja pada turap lebih kecil dibandingkan dengan gaya pasif. Namun, pemasangan turap tetap dilakukan dengan kedalaman 12 m untuk meningkatkan nilai SF pada stabilitas di zona 2 dan 3 yang kemudian akan dianalisis ulang melalui program bantu, karena pada saat perhitungan manual tidak bisa diketahui SF yang pasti apabila gaya pasif lebih besar dari gaya aktif yang berarti *safety factor* (SF) dari turap tersebut sudah lebih dari 1. Apabila SF yang dihasilkan kurang dari 1,5 maka turap akan dipanjangkan atau diganti profilnya sampai mendapatkan SF yang sesuai. Sebagai pembanding perhitungan turap maka dihitung juga



perencanaan turap menggunakan metode perhitungan cerucuk, dengan mencoba-coba panjang cerucuk supaya jumlah cerucuk yang dibutuhkan adalah 1 (metode perhitungan dapat dilihat pada pembahasan cerucuk Sub – Bab 5.4 Perencanaan Perkuatan Timbunan dengan Cerucuk). Dari perhitungan dengan metode perhitungan cerucuk didapatkan hasil seperti pada Tabel 5.9 s/d 5.11 dan Gambar 5.11 s/d 5.13 serta panjang cerucuk yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 5.12. Perhitungan lengkap terdapat pada Lampiran 4.

**Tabel 5.9** Rekapitulasi Perhitungan Turap dengan Metode Cerucuk STA 141+150

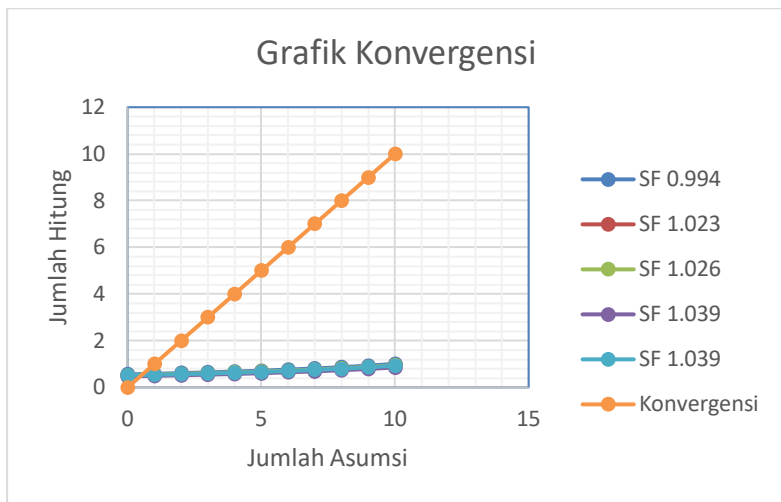
SF 0.994		SF 1.023		SF 1.026		SF 1.039		SF 1.039	
Xn	n	Xn	n	Xn	n	Xn	n	Xn	n
0	0.557767	0	0.52131	0	0.526632	0	0.473512	0	0.515705
1	0.58383	1	0.54567	1	0.551239	1	0.495637	1	0.539802
2	0.612448	2	0.57242	2	0.57826	2	0.519932	2	0.566262
3	0.644016	3	0.60192	3	0.608066	3	0.546732	3	0.595449
4	0.679016	4	0.63463	4	0.641111	4	0.576444	4	0.627809
5	0.718038	5	0.6711	5	0.677955	5	0.609571	5	0.663889
6	0.761818	6	0.71202	6	0.719292	6	0.646738	6	0.704367
7	0.811284	7	0.75826	7	0.765996	7	0.688732	7	0.750103
8	0.86762	8	0.81091	8	0.819187	8	0.736558	8	0.80219
9	0.932363	9	0.87142	9	0.880317	9	0.791521	9	0.862052
10	1.007549	10	0.94169	10	0.951305	10	0.855349	10	0.931567

**Tabel 5.10** Rekapitulasi Perhitungan Turap dengan Metode Cerucuk STA 141+350

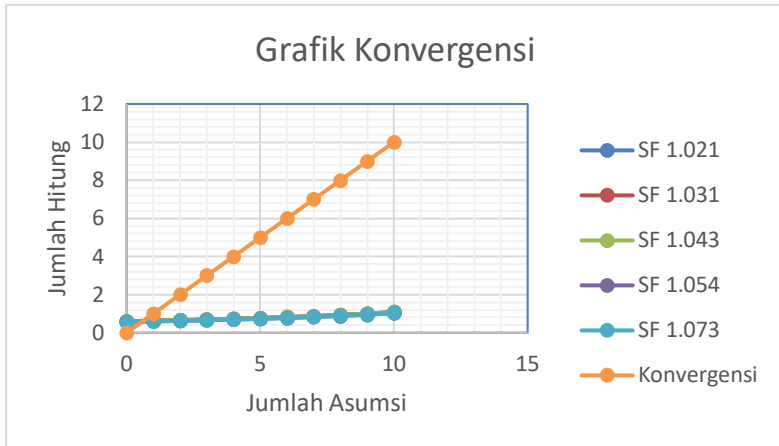
SF 1.021		SF 1.031		SF 1.043		SF 1.054		SF 1.073	
Xn	n	Xn	n	Xn	n	Xn	n	Xn	n
0	0.602104	0	0.59856	0	0.600486	0	0.565643	0	0.568912
1	0.630238	1	0.62653	1	0.628545	1	0.592073	1	0.595496
2	0.661131	2	0.65724	2	0.659354	2	0.621095	2	0.624686
3	0.695208	3	0.69112	3	0.69334	3	0.653109	3	0.656884
4	0.73299	4	0.72868	4	0.73102	4	0.688603	4	0.692583
5	0.775113	5	0.77055	5	0.77303	5	0.728176	5	0.732385
6	0.822374	6	0.81754	6	0.820164	6	0.772574	6	0.77704
7	0.875772	7	0.87062	7	0.873418	7	0.822739	7	0.827494
8	0.936586	8	0.93107	8	0.934069	8	0.87987	8	0.884956
9	1.006476	9	1.00055	9	1.003771	9	0.945528	9	0.950993
10	1.087637	10	1.08124	10	1.084715	10	1.021775	10	1.027681

**Tabel 5.11** Rekapitulasi Perhitungan Turap dengan Metode Cerucuk STA 141+600

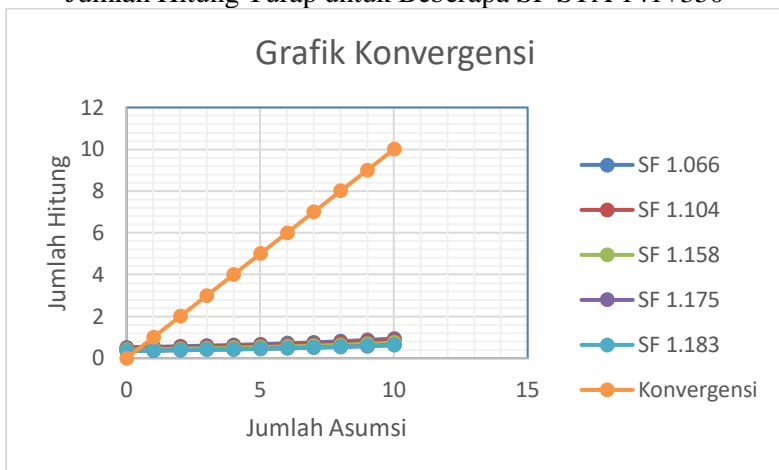
SF 1.066		SF 1.104		SF 1.158		SF 1.175		SF 1.183	
Xn	n	Xn	n	Xn	n	Xn	n	Xn	n
0	0.521755	0	0.4853	0	0.413792	0	0.34712	0	0.349718
1	0.546135	1	0.508	1	0.433128	1	0.36334	1	0.366059
2	0.572905	2	0.5329	2	0.454359	2	0.38115	2	0.384003
3	0.602435	3	0.5603	3	0.477778	3	0.400796	3	0.403796
4	0.635175	4	0.5908	4	0.503743	4	0.422578	4	0.42574
5	0.671677	5	0.6247	5	0.532693	5	0.446863	5	0.450207
6	0.712631	6	0.6628	6	0.565172	6	0.474109	6	0.477657
7	0.758903	7	0.7059	7	0.60187	7	0.504894	7	0.508672
8	0.811602	8	0.7549	8	0.643664	8	0.539954	8	0.543994
9	0.872165	9	0.8112	9	0.691695	9	0.580246	9	0.584588
10	0.942496	10	0.8766	10	0.747473	10	0.627037	10	0.631729



**Gambar 5.11** Grafik Konversi antara Jumlah Asumsi Turap dan Jumlah Hitung Turap untuk Beberapa SF STA 141+150



**Gambar 5.12** Grafik Konversi antara Jumlah Asumsi Turap dan Jumlah Hitung Turap untuk Beberapa SF STA 141+350



**Gambar 5.13** Grafik Konversi antara Jumlah Asumsi Turap dan Jumlah Hitung Turap untuk Beberapa SF STA 141+600

**Tabel 5.12** Panjang Turap dengan Metode Cerucuk

STA	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Panjang Cerucuk (m)	14	12	11.5

### 5.2.2 Analisis Stabilitas Perkuatan Turap *Freestanding*

Analisis stabilitas setelah adanya perkuatan dilakukan untuk memeriksa nilai *safety factor* timbunan akibat beban yang bekerja dan mengecek defleksi yang terjadi pada turap. Pemeriksaan dilakukan pada 3 titik STA yang mewakili tiap zona. Setelah dipasang perkuatan turap tanpa angker didapatkan SF yang belum memenuhi persyaratan baik dihitung dengan metode hitung manual turap atau dengan metode perhitungan cerucuk. Maka turap harus dipanjangkan atau diganti profilnya. Profil turap diganti dengan W600 A1000 (Lampiran 3) dan turap dipanjangkan. Hasil *safety factor* turap dapat dilihat pada Tabel 5.13.

**Tabel 5.13** Rekapitulasi *Safety Factor* Turap *Freestanding*

Titik STA	Profil Turap	Panjang Turap (m)	SF	Keterangan
141+150	W500 A1000	14	1.12	Not Ok
	W600 A1000	21	1.27	Not Ok
141+350	W500 A1000	12	1.16	Not Ok
	W600 A1000	21	1.33	Not Ok
141+600	W500 A1000	12	1.2	Not Ok
	W600 A1000	21	1.37	Not Ok

Dari hasil analisis tersebut, diperoleh *safety factor* stabilitas lereng setelah menggunakan perkuatan pada ketiga titik adalah  $\leq 1,5$ . Padahal turap sudah dipanjangkan sampai 21 m, maka dicoba kombinasi antara turap dengan *counterweight* yang dianalisis menggunakan program bantu. Hasil *safety factor* perkuatan kombinasi dapat dilihat pada Tabel 5.14.

**Tabel 5.14** Rekapitulasi *Safety Factor* Perkuatan Kombinasi

Titik STA	Profil Turap	Panjang Turap (m)	Panjang Timbunan (m)	Lebar Timbunan (m)	Tinggi Timbunan (m)	SF	Keterangan
141+150	W600 A1000	21	200	3	1.9	1.29	Not Ok
141+350	W600 A1000	21	150	3	1.4	1.37	Not Ok
141+600	W600 A1000	21	150	3	1.3	1.39	Not Ok

Dilihat dari Tabel 5.10 ternyata tidak terjadi kenaikan *safety factor* yang signifikan, SF yang dihasilkan masih  $\leq 1,5$ . Maka dengan hasil tersebut dicoba lagi dengan merangkap turap menjadi 2 buah tetapi panjang turap diturunkan dan dimensi turap dikecilkan supaya harga tetap hemat dan SF yang dihasilkan tidak berlebihan.

Setelah dicoba pada program bantu maka didapatkan SF turap rangkap  $> 1.5$  maka turap rangkap dapat digunakan sebagai perkuatan, SF turap rangkap dapat dilihat pada Tabel 5.15. Sedangkan hasil analisis menggunakan program bantu dan kontrol defleksi dapat dilihat pada Lampiran 4.

**Tabel 5.15** Rekapitulasi SF Turap Rangkap

Zona	Profil Turap	Panjang (m)	Jumlah Turap	SF	Keterangan
1	W500 A1000	15	2	1.51	Ok
2	W500 A1000	15	2	1.54	Ok
3	W500 A1000	15	2	15.8	Ok

### 5.2.3 Perencanaan Turap Dengan Angker

Pada perencanaan turap dengan angker letak angker berada 1 m di bawah permukaan tanah dasar. Dengan asumsi bahwa timbunan yang berada di sisi kanan turap dianggap tidak ada. Adapun tahapan dalam merencanakan turap dengan angker adalah sebagai berikut :

#### 1. Menghitung Tegangan Horizontal Aktif dan Pasif.

Dalam menghitung tegangan horizontal aktif pasif diperhitungkan juga beban terpusat akibat kereta api dan beban bantalan rel yang merupakan beton dengan  $f_c' 50$ . Untuk beban terpusat akan dihitung dengan menggunakan persamaan yang terdapat pada Gambar 2.16, hasil perhitungan tegangan horizontal untuk beban kereta api langsung berupa gaya yang ditampilkan pada Gambar 5.15 s/d 5.17. Sedangkan perhitungan tegangan horizontal aktif pasif dengan beban timbunan dan beban bantalan rel menggunakan Persamaan 2.11 dan 2.12, hasil perhitungan tegangan aktif pasif dapat dilihat pada Lampiran 4.

Contoh Perhitungan Pada Zona 1

Aktif

Lapisan I (Aktif)

$$\begin{aligned} \bullet \quad \sigma'_H \text{ atas} &= K a 1. \sigma'_v 1 - 2 C. \sqrt{K a 1} = (0.59 \times 2.51) \\ &- (2 \times 0.67 \times \sqrt{0.59}) = 0.45 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

- $\sigma'_H \text{ bawah} = K_{a1} \cdot \sigma'_v2 - 2C \cdot \sqrt{K_{a1}} = (0.59 \times 5.71) - (2 \times 0.67 \times \sqrt{0.59}) = 2.34 \text{ t/m}^2$

Lapisan II (Aktif)

- $\sigma'_H \text{ atas} = K_{a2} \cdot \sigma'_v2 - 2C \cdot \sqrt{K_{a2}} = (1.0 \times 5.71) - (2 \times 1.30 \times \sqrt{1.0}) = 3.11 \text{ t/m}^2$
- $\sigma'_H \text{ bawah} = K_{a2} \cdot \sigma'_v3 - 2C \cdot \sqrt{K_{a2}} = (1.0 \times 8.11) - (2 \times 1.30 \times \sqrt{1.0}) = 5.11 \text{ kN/m}^2$

Lapisan III (Aktif)

- $\sigma'_H \text{ atas} = K_{a3} \cdot \sigma'_v3 - 2C \cdot \sqrt{K_{a3}} = (1.0 \times 8.11) - (2 \times 2.50 \times \sqrt{1.0}) = 3.11 \text{ t/m}^2$
- $\sigma'_H \text{ bawah} = K_{a3} \cdot \sigma'_v4 - 2C \cdot \sqrt{K_{a3}} = (1.0 \times (8.11 + 0.70 \text{ d0})) - (2 \times 2.50 \times \sqrt{1.0}) = 3.11 + 0.70 \text{ d0 t/m}^2$

Pasif

Lapisan II (Pasif)

- $\sigma'_H \text{ atas} = K_{p2} \cdot \sigma'_v2 + 2C \cdot \sqrt{K_{p2}} = (1.0 \times 0) + (2 \times 1.30 \times \sqrt{1.0}) = 2.60 \text{ t/m}^2$
- $\sigma'_H \text{ bawah} = K_{p2} \cdot \sigma'_v3 + 2C \cdot \sqrt{K_{p2}} = (1.0 \times 2.4) - (2 \times 1.30 \times \sqrt{1.0}) = 5.00 \text{ t/m}^2$

Lapisan III (Pasif)

- $\sigma'_H \text{ atas} = K_{p3} \cdot \sigma'_v3 + 2C \cdot \sqrt{K_{p3}} = (1.0 \times 2.4) + (2 \times 2.50 \times \sqrt{1.0}) = 7.40 \text{ t/m}^2$
- $\sigma'_H \text{ bawah} = K_{p3} \cdot \sigma'_v4 + 2C \cdot \sqrt{K_{p3}} = (1.0 \times (2.4 + 0.70 \text{ d0})) + (2 \times 2.50 \times \sqrt{1.0}) = 7.40 + 0.70 \text{ t/m}^2$

## 2. Mencari Nilai do.

Untuk mencari nilai do, setelah didapatkan tegangan horizontal aktif, selanjutnya dihitung gaya-gaya yang bekerja pada turap. Perhitungan gaya dimaksudkan untuk mendapatkan persamaan momen aktif dan pasif ditunjukkan pada Tabel 5.16. Perhitungan gaya dibedakan menjadi 2 bagian, yaitu

perhitungan gaya dari tegangan horizontal aktif pasif akibat beban timbunan dan bantalan rel, dan perhitungan gaya akibat beban kereta api. Sketsa gaya-gaya yang bekerja pada turap ditunjukkan pada Gambar 5.16 s/d 5.19.

Gaya Aktif Akibat Beban Bantalan Rel dan Timbunan

- $Pa\ 1 = (0.45 \times 2) \times (0) = 0$
- $Pa\ 2 = ((2.34 - 0.45) \times 2 \times 0.5) \times (0.33) = 0.63$
- $Pa\ 3 = (3.11 \times 4) \times (3.00) = 37.32$
- $Pa\ 4 = ((5.51 - 3.11) \times 4 \times 0.5) \times (3.67) = 17.6$
- $Pa\ 5 = (3.11 \times d_0) \times (5.00 + 0.50\ d_0) = 15.55\ d_0 + 1.56\ d_0^2$
- $Pa\ 6 = ((3.11 + 0.7\ d_0 - 3.11) \times d_0 \times 0.5) \times (5.00 + 0.67\ d_0)$   
 $= 1.75\ d_0^2 + 0.23\ d_0^3$

$$\text{Momen Aktif Total} = 55.55 + 15.55\ d_0 + 3.31\ d_0^2 + 0.23\ d_0^3$$

Gaya Pasif Akibat Beban Bantalan Rel dan Timbunan

- $Pp\ 1 = (2.60 \times 4) \times (3.00) = 31.20$
- $Pp\ 2 = ((5.0 - 2.6) \times 4 \times 0.5) \times (3.67) = 17.60$
- $Pp\ 3 = (7.40 \times d_0) \times (5.0 + 0.5\ d_0) = 37.0\ d_0 + 3.70\ d_0^2$
- $Pp\ 4 = ((7.40 + 0.7\ d_0 - 7.40) \times d_0 \times 0.5) \times (5.0 + 0.67\ d_0)$   
 $= 1.75\ d_0^2 + 0.23\ d_0^3$
- $\text{Momen Aktif Total} = 48.80 + 37.0\ d_0 + 5.45\ d_0^2 + 0.23\ d_0^3$

Gaya Aktif Akibat Beban Kereta Api Roda 1 (Jarak 2m dari Turap)

$$m = X/H = 2/12 = 0.17 < 0.4 \text{ maka } R = 0.6\ H$$

$$Ph = 0.55\ Ql = 0.55 \times 8.75 = 4.8125\ \text{ton/m'}$$

$$\text{Maka momen akibat beban roda 1} = 34.65 + 2.88\ d_0$$

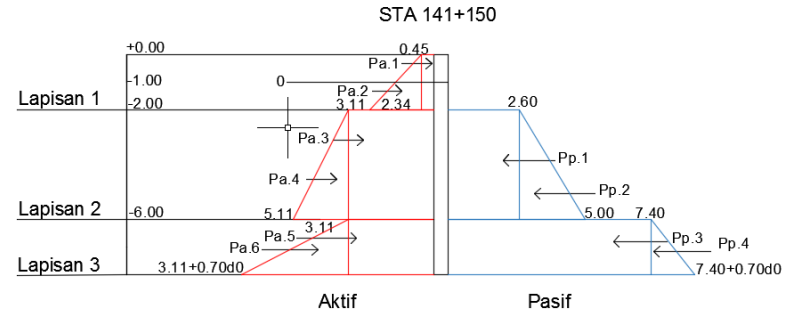
Gaya Aktif Akibat Beban Kereta Api Roda 2 (Jarak 3m dari Turap)

$$m = X/H = 3/12 = 0.25 < 0.4 \text{ maka } R = 0.6\ H$$

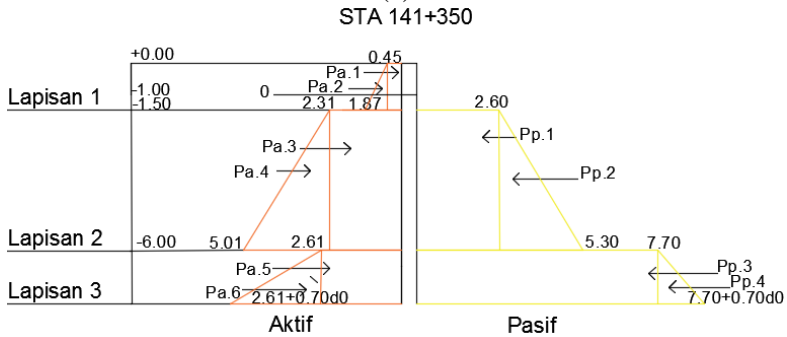
$$Ph = 0.55\ Ql = 0.55 \times 8.75 = 4.8125\ \text{ton/m'}$$

$$\text{Maka momen akibat beban roda 1} = 34.65 + 2.88\ d_0$$

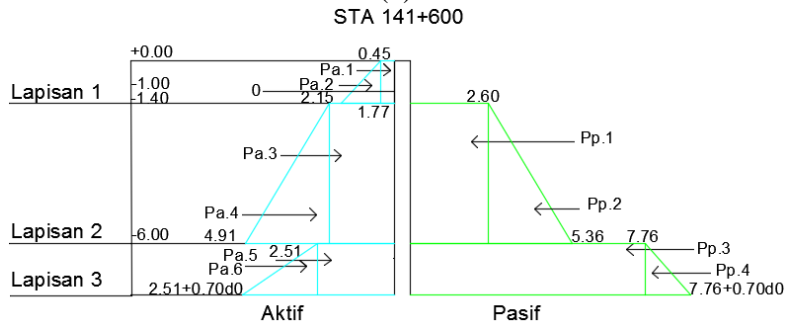
Hasil diagram tegangan dapat dilihat pada Gambar 5.8 s/d 5.10 sedangkan hasil perhitungan momen akibat beban roda kereta api dapat dilihat pada Tabel 5.5 s/d 5.7.



(a)



(b)

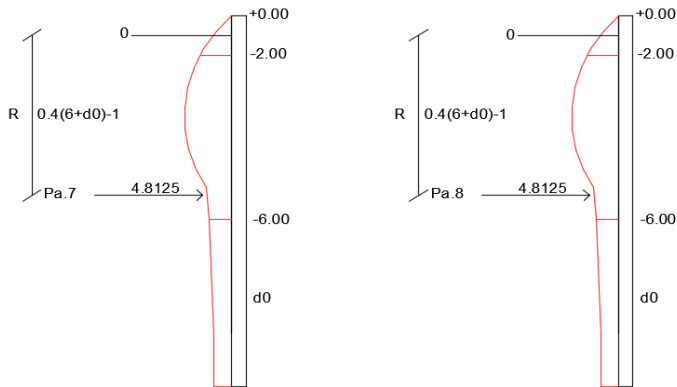


(c)

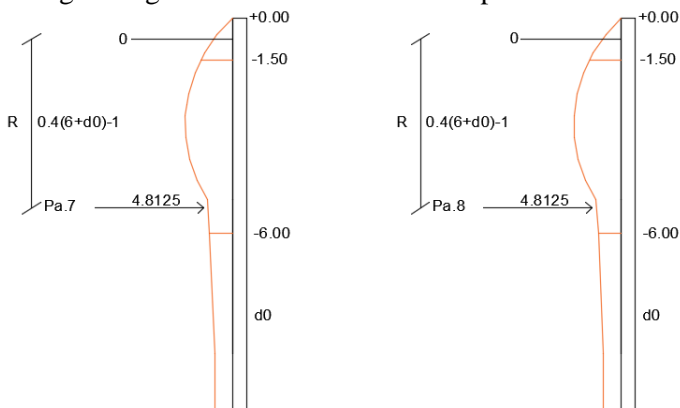
**Gambar 5.14** Sketsa Gaya Horizontal yang Bekerja pada Turap Dengan Angker Akibat Beban Timbunan dan Bantalan Rel: (a) STA 141+150; (b) STA 141+350; (c) STA 141+600



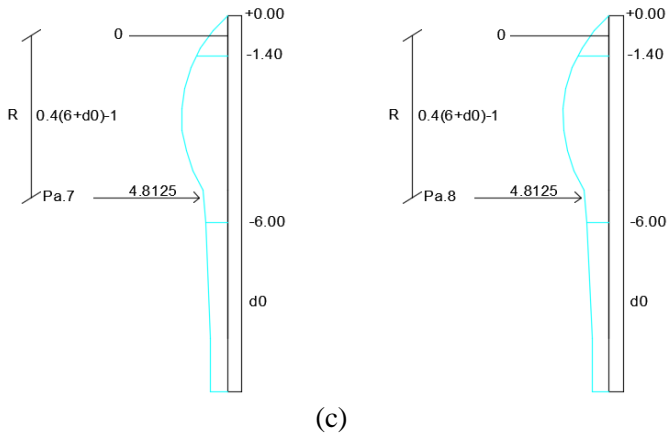
Dari hasil gaya horizontal yang bekerja akibat beban timbunan tanah dan beban bantalan rel yang ditunjukkan pada Gambar 5.14 akan dijumlahkan dengan gaya horizontal yang bekerja akibat beban kereta api yang ditunjukkan pada Gambar 5.15 s/d 5.17 untuk didapatkan persamaan momen total aktif dan pasif.



**Gambar 5.15** Sketsa Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Dengan Angker Akibat Beban Kereta Api STA 141+150



**Gambar 5.16** Sketsa Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Dengan Angker Akibat Beban Kereta Api STA 141+350



**Gambar 5.17** Sketsa Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Dengan Angker Akibat Beban Kereta Api STA 141+600

Dari Gambar 5.14 s/d 5.17 didapatkan gaya horizontal aktif pasif dari semua beban, maka dilakukan perhitungan untuk mendapatkan persamaan momen  $\Sigma M = 0$  yang titik putar momenya berada 1 m dari ujung atas turap. Hasil perhitungan untuk mendapatkan persamaan momen  $\Sigma M = 0$  akibat beban timbunan dan bantalan rel ditunjukkan pada Tabel 5.16 s/d 5.18 dan akibat beban kereta api ditunjukkan pada Tabel 5.19 s/d 5.21.

**Tabel 5.16** Perhitungan Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Dengan Angker dan Persamaan Momen Aktif Pasif untuk Beban Timbunan dan Beban Bantalan Rel STA 141+150

GAYA AKTIF	ketebalan (m)	oh Aktif/Lebar (t/m <sup>2</sup> )	Gaya (ton)	Jarak ke o (m)	Momen (t.m)				
Pa.1	2	0.45	0.91	0.00	0.00	+	+	+	
Pa.2	2	1.88	1.88	0.33	0.63	+	+	+	
Pa.3	4	3.11	12.44	3.00	37.32	+	+	+	
Pa.4	4	2.40	4.80	3.67	17.60	+	+	+	
Pa.5	do	3.11	3.11 do	5.00	+	15.55 do	+	1.56 do <sup>2</sup> +	
Pa.6	do	0.70 do	0.35 do <sup>2</sup>	5.00	+	0.67 do	+	1.75 do <sup>2</sup> + 0.23 do <sup>3</sup>	
Persamaan Momen Aktif =					55.55	+	15.55 do	+	3.31 do <sup>2</sup> + 0.23 do <sup>3</sup>
GAYA PASIF	Ketebalan (m)	oh Pasif/Lebar (t/m <sup>2</sup> )	Gaya (ton)	Jarak ke o (m)	Momen (t.m)				
Pp.1	4	2.60	10.40	3.00	31.20	+	+	+	
Pp.2	4	2.40	4.80	3.67	17.60	+	+	+	
Pp.3	do	7.40	7.40 do	5.00	+	37.00 do	+	3.70 do <sup>2</sup> +	
Pp.4	do	0.70 do	0.35 do <sup>2</sup>	5.00	+	0.67 do	+	1.75 do <sup>2</sup> + 0.23 do <sup>3</sup>	
Persamaan Momen Pasif =					48.80	+	37.00 do	+	5.45 do <sup>2</sup> + 0.23 do <sup>3</sup>

**Tabel 5.17** Perhitungan Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Dengan Angker dan Persamaan Momen Aktif Pasif untuk Beban Timbunan dan Beban Bantalan Rel STA 141+350

GAYA AKTIF	Ketebalan (m)	oh Aktif/Lebar (t/m <sup>2</sup> )	Gaya (ton)	Jarak ke o (m)	Momen (t.m)								
Pa.1	1.5	0.45	0.68	-0.25	+	-0.17	+	+	+				
Pa.2	1.5	1.41	1.06	0.00	+	0.00	+	+	+				
Pa.3	4.5	2.31	10.40	2.75	+	28.59	+	+	+				
Pa.4	4.5	2.70	6.08	3.50	+	21.26	+	+	+				
Pa.5	do	2.61	2.61 do	5.00	+	0.50 do	+	13.05 do	+	1.31 do <sup>2</sup>	+		
Pa.6	do	0.70 do	0.35 do <sup>2</sup>	5.00	+	0.67 do	+	do	+	1.75 do <sup>2</sup>	+	0.23 do <sup>3</sup>	
Persamaan Momen Aktif =							49.68	+	13.05 do	+	3.06 do <sup>2</sup>	+	0.23 do <sup>3</sup>
GAYA PASIF	Ketebalan (m)	oh Pasif/Lebar (t/m <sup>2</sup> )	Gaya (ton)	Jarak ke o (m)	Momen (t.m)								
Pp.1	4.5	2.60	11.70	2.75		32.18	+		+				
Pp.2	4.5	2.70	6.08	3.50		21.26	+		+			+	
Pp.3	do	7.70	7.70 do	5.00			+	38.50 do	+	3.85 do <sup>2</sup>	+		
Pp.4	do	0.70 do	0.35 do <sup>2</sup>	5.00			+	0.67 do	+	1.75 do <sup>2</sup>	+	0.23 do <sup>3</sup>	
Persamaan Momen Pasif =							53.44	+	38.50 do	+	5.60 do <sup>2</sup>	+	0.23 do <sup>3</sup>

**Tabel 5.18** Perhitungan Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Dengan Angker dan Persamaan Momen Aktif Pasif untuk Beban Timbunan dan Beban Bantalan Rel STA 141+600

GAYA AKTIF	Ketebalan (m)	dh Aktif/Lebar (t/m <sup>2</sup> )	Gaya (ton)	Jarak ke o (m)	Momen (t.m)			
Pa.1	1.4	0.45	0.64	-0.30	+	-0.19	+	+
Pa.2	1.4	1.32	0.92	-0.07	+	-0.06	+	+
Pa.3	4.6	2.15	9.89	2.70	+	26.70	+	+
Pa.4	4.6	2.76	6.35	3.47	+	22.01	+	+
Pa.5	do	2.51	2.51 do	5.00	+	0.50 do	+	12.55 do
Pa.6	do	0.70 do	0.35 do <sup>2</sup>	5.00	+	0.67 do	+	1.75 do <sup>2</sup>
Persamaan Momen Aktif =						48.46	+	12.55 do
							+	3.01 do <sup>2</sup>
							+	0.23 do <sup>3</sup>

GAYA PASIF	Ketebalan (m)	dh Pasif/Lebar (t/m <sup>2</sup> )	Gaya (ton)	Jarak ke o (m)	Momen (t.m)			
Pp.1	4.6	2.60	11.96	2.70	+	32.29	+	+
Pp.2	4.6	2.76	6.35	3.47	+	22.01	+	+
Pp.3	do	7.76	7.76 do	5.00	+	0.50 do	+	38.80 do
Pp.4	do	0.70 do	0.35 do <sup>2</sup>	5.00	+	0.67 do	+	1.75 do <sup>2</sup>
Persamaan Momen Pasif =						54.30	+	38.80 do
							+	5.63 do <sup>2</sup>
							+	0.23 do <sup>3</sup>

**Tabel 5.19** Perhitungan Gaya Horisontal yang Bekerja pada Turap Dengan Angker dan Persamaan Momen Aktif Pasif Akibat Beban Kereta Api STA 141+150

Persamaan Aktif Beban 1(jarak 2m dari turap) $m = 0.17 < 0.4 R = 0.6H$				
Aktif				
Ph = 0.55 Ql	4.8125			
Momen = Ph	10.55	+	2.8875	do
Persamaan Aktif Beban 2(jarak 3m dari turap) $m = 0.25 < 0.4 R = 0.6H$				
Aktif				
Ph = 0.55 Ql	4.8125			
Momen = Ph	10.55	+	2.8875	do

**Tabel 5.20** Perhitungan Gaya Horizontal yang Bekerja pada Turap Dengan Angker dan Persamaan Momen Aktif Pasif Akibat Beban Kereta Api STA 141+350

Persamaan Aktif Beban 1(jarak 2m dari turap) $m = 0.17 < 0.4 R = 0.6H$				
Aktif				
Ph = 0.55 Ql	4.8125			
Momen = Ph	10.55	+	2.8875	do
Persamaan Aktif Beban 2(jarak 3m dari turap) $m = 0.25 < 0.4 R = 0.6H$				
Aktif				
Ph = 0.55 Ql	4.8125			
Momen = Ph	10.55	+	2.8875	do

**Tabel 5.21** Perhitungan Gaya Horizontal yang Bekerja pada Turap Dengan Angker dan Persamaan Momen Aktif Pasif Akibat Beban Kereta Api STA 141+600

Persamaan Aktif Beban 1(jarak 2m dari turap) $m = 0.17 < 0.4 R = 0.6H$				
Aktif				
Ph = 0.55 Ql	4.8125			
Momen = Ph	10.55	+	2.8875	do
Persamaan Aktif Beban 2(jarak 3m dari turap) $m = 0.25 < 0.4 R = 0.6H$				
Aktif				
Ph = 0.55 Ql	4.8125			
Momen = Ph	10.55	+	2.8875	do

Hasil dari kedua persamaan pada Tabel 5.16 s/d 5.18 dan 5.19 s/d 5.21 dijumlahkan maka akan didapatkan persamaan aktif pasif yang digunakan untuk mencari panjang d0. Persamaan momen aktif dan pasif total dapat dilihat pada Tabel 5.22.

**Tabel 5.22** Perhitungan Persamaan Momen  $\Sigma M = 0$  pada Turap Dengan Angker : (a) STA 141+150; (b) STA 141+350; (c) STA 141+600

(a)

Persamaan Momen								
AKTIF	0.23 do^3	+	3.31 do^2	+	21.33 do	+	76.65 = 0	do (m)
PASIF	0.23 do^3	+	5.45 do^2	+	37.00 do	+	48.80 = 0	
TOTAL	0.00 do^3	+	-2.15 do^2	+	-15.68 do	+	27.85 = 0	
TOTAL PANJANG TURAP (m) :								8.00

(b)

Persamaan Momen									
AKTIF	0.23 do <sup>3</sup>	+	3.06 do <sup>2</sup>	+	18.83 do	+	70.78 =	0	do (m)
PASIF	0.23 do <sup>3</sup>	+	5.60 do <sup>2</sup>	+	38.50 do	+	53.44 =	0	
TOTAL	0.00 do <sup>3</sup>	+	-2.55 do <sup>2</sup>	+	-19.68 do	+	17.34 =	0	
TOTAL PANJANG TURAP (m) :									7.00

(c)

Persamaan Momen								
AKTIF	0.23 do^3	+	3.01 do^2	+	18.33 do	+	69.56 = 0	do (m)
PASIF	0.23 do^3	+	5.63 do^2	+	38.80 do	+	54.30 = 0	
TOTAL	0.00 do^3	+	-2.63 do^2	+	-20.48 do	+	15.26 = 0	
TOTAL PANJANG TURAP (m) :								7.00

Dari ketiga persamaan yang didapatkan dari Tabel 5.17 maka dicari faktor dari persamaan tersebut, dan didapatkan panjang d0.

### 3. Menghitung Panjang Total Turap.

Setelah menghitung faktor dari persamaan pangkat tiga pada Tabel 5.22, maka didapatkan nilai do untuk ketiga STA. Nilai do ini kemudian dikalikan dengan angka keamanan, SF yaitu 1,2 lalu dijumlahkan dengan tebal lapisan tanah yang ada di atasnya. Sehingga total panjang turap yang dibutuhkan pada zona satu 8 m, zona dua 7 m, dan zona tiga 7 m.

4. Menentukan Jumlah Turap yang akan Dipasang.

Jumlah turap yang akan dipasang ditentukan dari perbandingan antara *section modulus* yang terjadi akibat momen yang bekerja pada turap dibandingkan dengan *section modulus* dari jenis turap yang digunakan. Berikut akan diberikan contoh perhitungan jumlah turap di STA 141+150:

Momen maksimum yang bekerja pada turap adalah :

$$\Sigma Mx = -2,15x^2 - 15,68x - 27,85;$$

dimana x adalah do.

Dari perhitungan  $\frac{dy.\Sigma Mx}{dx} = 0$  diperoleh nilai  $x = -3,65$  m

Nilai x ini kemudian disubstitusi ke persamaan  $\Sigma Mx$  sehingga diperoleh momen maksimal ( $M_{max}$ ) sebesar 56,4 ton.m = 5648506.265 kg.cm.

Nilai *section modulus* akibat momen yang bekerja didapatkan dengan membagi  $M_{max}$  dengan tegangan ijin, yakni sebesar 1500 kg/cm<sup>2</sup>, sehingga diperoleh *section modulus* sebesar 3765.67 cm<sup>3</sup>.

Dikarenakan *section modulus* turap *Corrugated Type W-325 A1000* (Lampiran 3) adalah sebesar 8262 cm<sup>3</sup> maka hanya dibutuhkan 1 buah turap tiap meter panjang melintang lereng. Perhitungan lengkap jumlah turap yang dibutuhkan dapat dilihat pada Lampiran 4.

7. Menentukan Diameter Baja Angker

Diameter baja angker direncanakan menggunakan baja berdiameter 6 cm. Baja angker diasumsikan tidak ikut menahan gaya gesek akibat gaya aktif turap. Dengan demikian turap seharusnya menjadi lebih aman.

8. Menentukan Volume Beton Grouting

Dalam perencanaan turap angker ini baja angker dianggap tidak ikut menahan gaya gesek akibat gaya aktif turap, maka gaya harus dapat ditahan semua oleh beton grouting. Beton grouting menggunakan beton  $f_c' 50$  Mpa.

Dimensi beton grouting:

Beton grouting hanya mampu menyebar di dalam tanah selebar 15 cm (jari-jari tabung 15 cm), maka diameter beton grouting 30 cm. Dengan menggunakan Persamaan 2.14 maka dapat dicari luas dan panjang beton grouting yang di perlukan, untuk *Safety Factor* yang digunakan adalah 1.5 dan T total yang digunakan adalah T miring atau  $T/\cos\alpha$ . Hasil dimensi beton grouting dapat dilihat pada Tabel 5.23 s/d 5.25.

**Tabel 5.23** Rekapitulasi Dimensi Angker dan Beton Grouting  
STA 141+150

$\Sigma$ Gaya Aktif (ton)	37.27865431
$\Sigma$ Gaya Pasif (ton)	31.4
Gaya pada Angkur, T (ton)	5.878654306
Pu angkur, Tult (ton)	8.817981459
Jarak Pemasangan Angker (1m)	1.00
cosAlfa	30
T ult Miring (ton)	10.18
Panjang Angker (m)	6.00
Luas (m2)	2.909179411
Diameter Grouting (m)	0.3
Panjang Grouting (m)	3
Volume Grouting (m3)	0.3

**Tabel 5.24** Rekapitulasi Dimensi Angker dan Beton Grouting  
STA 141+350

$\Sigma$ Gaya Aktif (ton)	30.99206908
$\Sigma$ Gaya Pasif (ton)	26.31827788
Gaya pada Angkur, T (ton)	4.6737912
Pu angkur, Tult (ton)	7.0106868
Jarak Pemasangan Angker (1m)	1.00
cosAlfa	30
T ult Miring (ton)	8.09
Panjang Angker (m)	6.00
Luas (m2)	2.312727597
Diameter Grouting (m)	0.3
Panjang Grouting (m)	2.4
Volume Grouting (m3)	0.2



**Tabel 5.25** Rekapitulasi Dimensi Angker dan Beton Grouting  
STA 141+600

<b>Σ Gaya Aktif (ton)</b>	30.28289066
<b>Σ Gaya Pasif (ton)</b>	26.418
Gaya pada Angkur, T (ton)	3.864890659
Pu angkur, Tult (ton)	5.797335989
Jarak Pemasangan Angker (1m)	1.00
cosAlfa	30
T ult Miring (ton)	6.69
Panjang Angker (m)	6.00
Luas (m2)	1.912624854
Diameter Grouting (m)	0.3
Panjang Grouting (m)	2.1
Volume Grouting (m3)	0.2

Dari Tabel 5.23 s/d 5.25 didapatkan volume dan panjang grouting. Namun untuk menghemat biaya volume beton grouting dapat dikurangi dengan cara menambahkan panjang d0 pada turap. Zona satu panjang d0 menjadi 9 m, zona dua panjang d0 menjadi 8 m, dan zona 3 panjang d0 menjadi 8 m. Hasil dimensi grouting akibat perubahan panjang d0 pada ketiga zona dapat dilihat pada Tabel 5.26 s/d 5.28.

**Tabel 5.26** Rekapitulasi Dimensi Angker dan Beton Grouting  
STA 141+150 Setelah Perubahan d0

<b>Σ Gaya Aktif (ton)</b>	42.13865431
<b>Σ Gaya Pasif (ton)</b>	40.55
Gaya pada Angkur, T (ton)	1.588654306
Pu angkur, Tult (ton)	2.382981459
Jarak Pemasangan Angker (1m)	1.00
cosAlfa	30
T ult Miring (ton)	2.75
Panjang Angker (m)	6.00
Luas (m2)	0.786179992
Diameter Grouting (m)	0.3
Panjang Grouting (m)	0.7
Volume Grouting (m3)	0.1

**Tabel 5.27** Rekapitulasi Dimensi Angker dan Beton Grouting  
STA 141+350 Setelah Perubahan d0

$\Sigma$ Gaya Aktif (ton)	33.28546631
$\Sigma$ Gaya Pasif (ton)	31.8765
Gaya pada Angkur, T (ton)	1.408966306
Pu angkur, Tult (ton)	2.113449458
Jarak Pemasangan Angker (1m)	1.00
cosAlfa	30
T ult Miring (ton)	2.44
Panjang Angker (m)	6.00
Luas (m2)	0.69719744
Diameter Grouting (m)	0.3
Panjang Grouting (m)	0.6
Volume Grouting (m3)	0.1

**Tabel 5.28** Rekapitulasi Dimensi Angker dan Beton Grouting  
STA 141+600 Setelah Perubahan d0

$\Sigma$ Gaya Aktif (ton)	32.33489066
$\Sigma$ Gaya Pasif (ton)	31.62
Gaya pada Angkur, T (ton)	0.714890659
Pu angkur, Tult (ton)	1.072335989
Jarak Pemasangan Angker (1m)	1.00
cosAlfa	30
T ult Miring (ton)	1.24
Panjang Angker (m)	6.00
Luas (m2)	0.353779127
Diameter Grouting (m)	0.3
Panjang Grouting (m)	0.4
Volume Grouting (m3)	0.1

Setelah didapatkan dimensi angker dan beton grouting, turap angker seharusnya sudah aman karena sudah dikalikan SF 1.5

diatasnya. Sedangkan hasil kontrol profil turap dapat dilihat pada Lampiran 4.

#### 9. Menentukan Panjang Baja Angker

Letak angker harus terletak pada daerah di zona stabil. Jari-jari kelongsoran maksimal timbunan adalah  $45^\circ - \phi/2$ . Maka didapatkan panjang baja angker 7 m.

Untuk memperkuat struktur dan mempermudah dalam pemesanan, maka semua panjang turap disamakan menjadi 10m, panjang beton grouting dibulatkan menjadi 1m, profil diganti menjadi W400 A1000 (Lampiran 3) dan panjang besi angker dinaikan 0,5 m. Rekapitulasi kekuatan turap berangker dapat dilihat pada Tabel 5.29.

**Tabel 5.29** Rekapitulasi Perkuatan Turap Berangker

Titik STA	Profil Turap	Panjang Turap (m)	Panjang Angker (m)	Diameter Angker (m)	Panjang Grouting (m)	Diameter Grouting (m)	Keterangan
141+150	W325 A1000	9	7	0.06	0.7	0.3	Perhitungan
	W400 A1000	10	7.5	0.06	1	0.3	Dipasang
141+350	W325 A1000	8	7	0.06	0.6	0.3	Perhitungan
	W400 A1000	10	7.5	0.06	1	0.3	Dipasang
141+600	W325 A1000	8	7	0.06	0.4	0.3	Perhitungan
	W400 A1000	10	7.5	0.06	1	0.3	Dipasang

### 5.3 Perencanaan Perkuatan dengan *Counterweight*

Perencanaan perkuatan timbunan dengan *counterweight* direncanakan dengan menggunakan konsep *foundation stability* pada Bab II untuk mencari panjang timbunan *counterweight* yang dibutuhkan sebelum dianalisis menggunakan program bantu *Plaxis*. Dengan zona 1 panjang timbunan 200 m, zona 2 panjang timbunan 150 m, dan zona 3 panjang timbunan 150 m. Untuk dimensi lebar dan tinggi timbunan dicoba-coba menggunakan program bantu.

#### 5.3.1 Perencanaan Lebar Timbunan *Counterweight*

Perencanaan panjang *counterweight* menggunakan konsep *foundation stability* langkah-langkah perhitungannya adalah:

1. Mencari tegangan tanah  
Menghitung tegangan tanah menggunakan Persamaan 2.8.
2. Mencari gaya aktif pasif  
Gaya yang ditimbulkan hanya sedalam tanah lunak, untuk menghitungnya menggunakan Persamaan 2.9 dan 2.10.
3. Menghitung lebar timbunan  
Menghitung lebar timbunan *counterweight* menggunakan persamaan 2.7 dimana SF 1,5. Rekap titik STA dan lebar yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 5.30. Sedangkan hasil lengkap perhitungan perencanaan lebar *counterweight* dapat dilihat pada Lampiran 4.

**Tabel 5.30** Rekap Lebar *Counterweight* yang Dibutuhkan

STA	Kedalaman	Gamma Tanah Lunak	Cu(t/m <sup>2</sup> )	Beban		Sigma V	Pa	Pp	SF	L
		(0-5m)	(0-5m)	Kereta	Timbunan					
141+150	5	1.60	1.96	8.75	5.2	13.95	57.7	27	1.5	15.14668
141+350	5	1.60	1.96	8.75	4.3	13.05	53.2	27	1.5	13.42474
141+600	5	1.60	1.96	8.75	4.12	12.87	52.3	27	1.5	13.08036

### 5.3.2 Analisis Perkuatan *Counterweight*

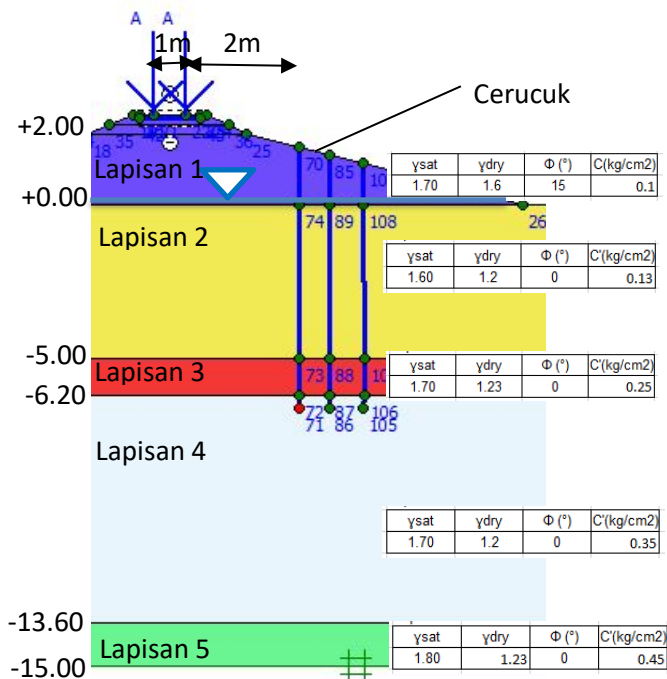
Setelah didapatkan panjang *counterweight* yang dibutuhkan maka perencanaan perkuatan dilanjutkan dengan menggunakan program bantu *Plaxis* pada 3 titik STA dengan spesifikasi timbunan sesuai pada Bab IV. Hasil lengkap analisis dapat dilihat pada Lampiran 4. Setelah dilakukan 3 percobaan analisis dengan program bantu maka menghasilkan SF seperti pada Tabel 5.31.

**Tabel 5.31** Rekapitulasi Percobaan Dimensi *Counterweight*

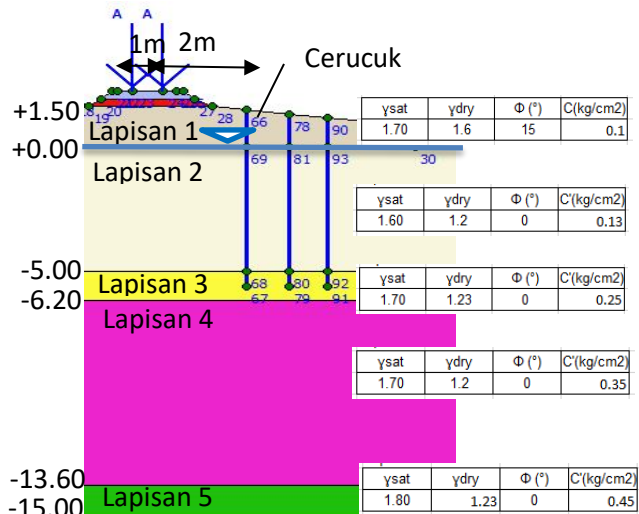
Zona	Lebar (m)	Panjang (m)	Tinggi (m)	SF
1	10	200	1	1.38
	15.2	200	1	1.49
	20	200	1	1.52
2	10	150	0.8	1.43
	13.5	150	0.8	1.51
	20	150	0.8	1.56
3	10	150	0.7	1.4
	13.1	150	0.7	1.5
	20	150	0.7	1.59

#### 5.4 Perencanaan Perkuatan Timbunan dengan Cerucuk

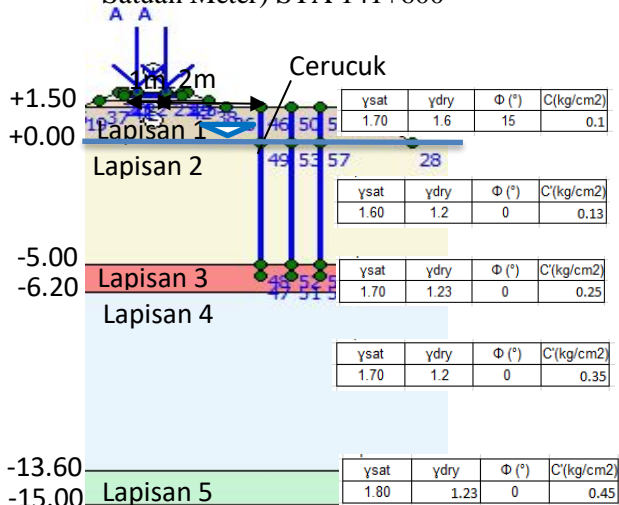
Alternatif perkuatan timbunan dengan cerucuk pada STA 141+100 – 141+600 menggunakan type cerucuk Prestressed Concrete Spun Pile diameter 300 mm dari PT Wijaya Karya Beton. Perhitungan perkuatan ini dilakukan dengan cara manual. Perencanaan cerucuk dilakukan berdasarkan pada geometri timbunan dan lapisan tanah pada STA 141+100 – 141+600 seperti yang terlihat pada Gambar 5.18 s/d 5.20 berikut.



**Gambar 5.18** Geometri Timbunan dan Cerucuk (Dimensi dalam Satuan Meter) STA 141+150



**Gambar 5.19** Geometri Timbunan dan Cerucuk (Dimensi dalam Satuan Meter) STA 141+600



**Gambar 5.20** Geometri Timbunan dan Cerucuk (Dimensi dalam Satuan Meter) STA 141+600

Berikut tahapan dalam merencanakan cerucuk:

Contoh Perhitungan pada Zona 1 SF 0.99 (SF 1)

1. Menghitung faktor modulus tanah (f)

Faktor modulus tanah dihitung dengan melihat grafik hubungan antara  $q_u$  ( $2C_u$ ) dengan faktor modulus tanah (f) pada Gambar 2.12 (NAFVAC DM-7, 1971).

$$q_u = 2 \times C_u = 2 \times 0.13 = 0.26 \text{ didapat dari grafik } f = 0.02 \text{ kg/cm}^3$$

2. Menghitung modulus elastisitas (E) dan momen inersia (I)

Modulus elastisitas didapatkan dari  $4700\sqrt{fc}$ , dengan cerucuk  $f_c$  50 (k 600) sedangkan momen inersia dihitung dengan Persamaan  $\frac{\pi}{8} (d^3t - 3d^2t^2 + 4dt^3 - 2t^4)$

Setelah dimasukkan rumus diatas didapatkan

$$I = 34607.78 \text{ cm}^4$$

$$E = 4700 \times \sqrt{600} = 115126.02$$

3. Menghitung faktor kekakuan relatif (T)

Faktor kekakuan relative (T) dihitung dengan Persamaan 2.3

$$T = \left(\frac{EI}{f}\right)^{\frac{1}{5}} = 190.215 \text{ cm}$$

4. Menghitung koefisien momen akibat gaya lateral (Fm)

Koefisien momen akibat gaya lateral (Fm) didapatkan dari grafik pada Gambar 2.13 (NAVFAC DM-7, 1971)

5. Mencari momen maksimum lentur *micropile* (Mp)

Momen maksimum lentur untuk *micropile* PC Spun Pile dapat dilihat pada Lampiran 3.

6. Menghitung faktor koreksi gabungan (Fkg)

Perhitungan faktor koreksi gabungan menggunakan persamaan 2.6, dimana nilai model persamaan pada variasi perlakuan cerucuk terdapat pada Tabel 2.9.

7. Menghitung gaya horizontal 1 cerucuk

Dari variable yang telah di dapatkan maka dihitung gaya horizontal yang mampu dipikul 1 buah cerucuk dengan Persamaan 2.5

$$Y_t = (0,101 (X_t) - 0,3928) * 0.89111$$

$$\text{dimana } X_t = L_b/D = 490/30 = 16.33 \quad Y_t = 1.12$$

$$Y_s = - 0.046(X_s)^2 + 0.485(X_s) - 0.273$$

dimana  $X_s = S/D = 100/30 = 3.33$   $Y_s = 0,832$

$$Y_D = 36,267(X_D) - 3.5739$$

dimana  $X_d = D/T = 30/190,215 = 0,16$   $Y_d = 2.146$

$$Y_n = -0.0469x_n + 1.0506$$

dimana  $X_n$  = jumlah cerucuk ; asumsi 1  $Y_n = 1,05$

$$F_{kg} = 2,51 \times Y_t \times Y_s \times Y_n \times Y_D = 5,28$$

8. Menghitung jumlah cerucuk yang di butuhkan

Setelah didapatkan gaya horizontal 1 cerucuk maka di cari jumlah cerucuk yang dibutuhkan, dengan menggunakan rumus n pada Gambar 2.14. Tabel 5.32 Menunjukkan jumlah variasi SF dan variasi jari-jari kelongsoran yang digunakan dalam perhitungan.

$$P = \frac{Mp}{F_m \times T} \times F_{kg} = \frac{250000}{1 \times 190.215} \times 5.28 = 6935.2 \text{ Kg}$$

Jumlah cerucuk yang dibutuhkan :

$$SF = 0.99$$

$$MR = 1832.94 \text{ kN m}$$

$$R = 7.07 \text{ m}$$

$$M_d = M_r / SF = 1844 \text{ kN m}$$

Maka jumlah cerucuk yang dibutuhkan :

$$n = \frac{(1.5 - 0.99)}{6935.2 \times 7.07} \times 1844 = 1.902$$

Perhitungan dilanjutkan dengan asumsi jumlah cerucuk yang ditampilkan pada Tabel 5.33 s/d 5.35.



**Tabel 5.32** Variasi SF, Variasi Jari-Jari Kelongsoran dan Mr

STA 141+150			STA 141+350			STA 141+600		
SF	R (m)	Mr (kNm)	SF	R (m)	Mr (kNm)	SF	R (m)	Mr (kNm)
0.994	7.07	1832.94	1.021	5.7	1113.95	1.066	5.89	1149.42
1.023	7.21	1907.34	1.031	5.96	1194.18	1.104	5.6	1153.71
1.026	6.86	1850.29	1.043	5.6	1168.66	1.158	5.5	1173.43
1.039	8	2020.11	1.054	5.48	1115.47	1.175	6.9	1318.6
1.039	6.89	1894.85	1.073	5.36	1166.84	1.183	6.4	1271.9

**Tabel 5.33** Rekapitulasi Perhitungan Cerucuk STA 141+150

SF 0.994		SF 1.023		SF 1.026		SF 1.039		SF 1.039	
Xn	n	Xn	n	Xn	n	Xn	n	Xn	n
0	1.902968	0	1.77858	0	1.796739	0	1.615507	0	1.75946
1	1.991888	1	1.86169	1	1.880696	1	1.690995	1	1.841675
2	2.089525	2	1.95295	2	1.972883	2	1.773883	2	1.931949
3	2.197228	3	2.05361	3	2.074574	3	1.865317	3	2.03153
4	2.316637	4	2.16521	4	2.187317	4	1.966688	4	2.141934
5	2.449771	5	2.28964	5	2.313019	5	2.07971	5	2.265027
6	2.599139	6	2.42925	6	2.454049	6	2.206515	6	2.403132
7	2.767905	7	2.58698	7	2.613394	7	2.349788	7	2.55917
8	2.960109	8	2.76663	8	2.794869	8	2.512958	8	2.73688
9	3.180999	9	2.97308	9	3.003428	9	2.70048	9	2.941112
10	3.437513	10	3.21282	10	3.245623	10	2.918246	10	3.178282

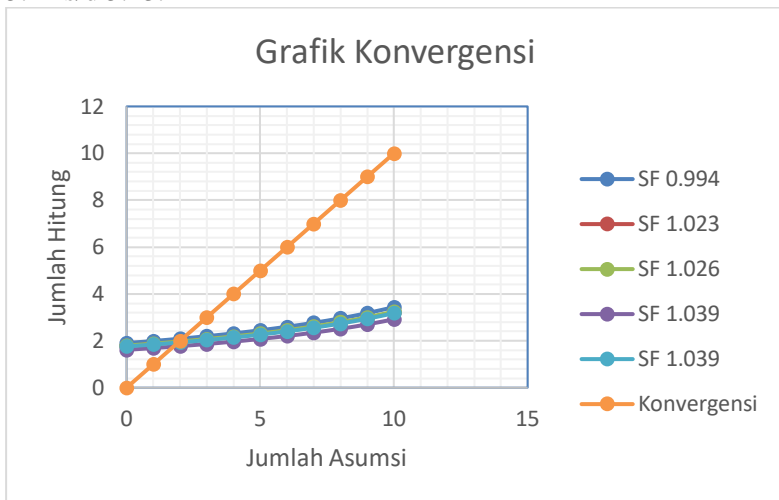
**Tabel 5.34** Rekapitulasi Perhitungan Cerucuk STA 141+350

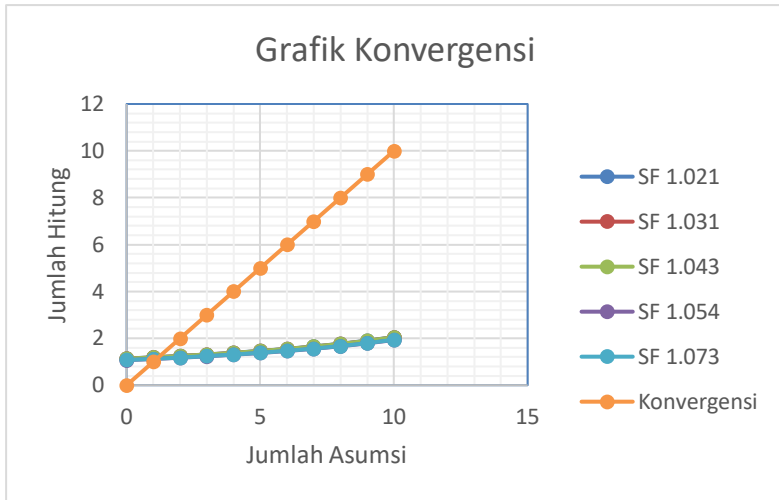
SF 1.021		SF 1.031		SF 1.043		SF 1.054		SF 1.073	
Xn	n	Xn	n	Xn	n	Xn	n	Xn	n
0	1.138971	0	1.13227	0	1.13591	0	1.07	0	1.076184
1	1.192192	1	1.18518	1	1.188988	1	1.119998	1	1.126471
2	1.25063	2	1.24327	2	1.24727	2	1.174897	2	1.181688
3	1.315093	3	1.30735	3	1.311559	3	1.235456	3	1.242597
4	1.386562	4	1.3784	4	1.382836	4	1.302597	4	1.310127
5	1.466245	5	1.45762	5	1.462305	5	1.377456	5	1.385418
6	1.555646	6	1.54649	6	1.551466	6	1.461443	6	1.46989
7	1.656656	7	1.64691	7	1.652205	7	1.556336	7	1.565332
8	1.771695	8	1.76127	8	1.766934	8	1.664409	8	1.674029
9	1.903903	9	1.8927	9	1.898787	9	1.78861	9	1.798949
10	2.057433	10	2.04533	10	2.051904	10	1.932843	10	1.944015

**Tabel 5.35** Rekapitulasi Perhitungan Cerucuk STA 141+600

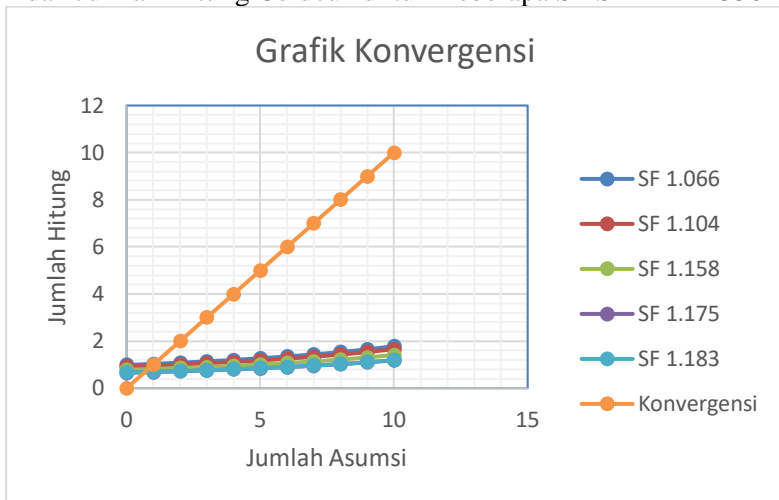
SF 1.066		SF 1.104		SF 1.158		SF 1.175		SF 1.183	
Xn	n	Xn	n	Xn	n	Xn	n	Xn	n
0	0.986979	0	0.918	0	0.782752	0	0.656631	0	0.661545
1	1.033098	1	0.9609	1	0.819328	1	0.687314	1	0.692457
2	1.083738	2	1.008	2	0.859489	2	0.721004	2	0.7264
3	1.139598	3	1.06	3	0.903791	3	0.758168	3	0.763842
4	1.20153	4	1.1176	4	0.952907	4	0.79937	4	0.805353
5	1.27058	5	1.1818	5	1.007669	5	0.845309	5	0.851635
6	1.34805	6	1.2538	6	1.06911	6	0.89685	6	0.903561
7	1.435581	7	1.3353	7	1.138528	7	0.955083	7	0.962231
8	1.535269	8	1.428	8	1.217588	8	1.021405	8	1.029049
9	1.649834	9	1.5345	9	1.308447	9	1.097624	9	1.105838
10	1.782875	10	1.6583	10	1.41396	10	1.186136	10	1.195013

Dari Tabel 5.33 s/d 5.35 dapat dilihat variasi jumlah cerucuk berdasarkan perhitungan dengan berbagai variasi SF dan variasi jari-jari kelongsoran. Dengan menggabungkan dengan garis konvergensi (garis konstan  $x=y$ ), maka didapatkan jumlah cerucuk yang dibutuhkan sesuai dengan perpotongan antara garis variasi SF tertinggi dengan garis konvergensi yang ditunjukkan pada Gambar 5.21 s/d 5.23.

**Gambar 5.21** Grafik Konversi antara Jumlah Asumsi Cerucuk dan Jumlah Hitung Cerucuk untuk Beberapa SF STA 141+150



**Gambar 5.22** Grafik Konversi antara Jumlah Asumsi Cerucuk dan Jumlah Hitung Cerucuk untuk Beberapa SF STA 141+350



**Gambar 5.23** Grafik Konversi antara Jumlah Asumsi Cerucuk dan Jumlah Hitung Cerucuk untuk Beberapa SF STA 141+600

Setelah didapatkan perpotongan garis antara garis variasi jumlah cerucuk dengan garis konvergensi maka didapatkan jumlah cerucuk yang akan dipasang untuk perkuatan. Untuk variasi jari-jari kelongsoran dan SF dapat dilihat pada Lampiran 4.

#### 10. Menghitung Panjang Cerucuk Total

Panjang total cerucuk dihitung dengan cara jarak antara permukaan tanah asli dengan bidang longsor terdalam ( $L_a$ ) ditambah dengan tinggi timbunan ditambah dengan panjang di bawah bidang longsor ( $L_b$ ) berdasarkan perencanaan pada perhitungan jumlah cerucuk. Maka didapatkan tinggi total cerucuk. Tabel 5.36 adalah rekapitulasi jumlah dan panjang cerucuk yang akan digunakan untuk perkuatan. Perhitungan secara rinci cerucuk dapat dilihat pada Lampiran 4.

**Tabel 5.36** Rekapitulasi Panjang dan Jumlah Cerucuk yang Digunakan untuk Perkuatan

STA	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Jumlah Per Meter	3	2	2
Total Jumlah	603	300	300
Panjang Cerucuk	10	10	10

### 5.5 Perhitungan Biaya Material

Dalam tugas akhir ini biaya yang dihitung adalah biaya material dari setiap perkuatan. Dengan jumlah biaya perkuatan termurah dan dapat tidaknya perkuatan tersebut di laksanakan menjadi pertimbangan utama dalam pemilihan perkuatan.

#### 5.5.1 Perhitungan Biaya Perkuatan Tanah dengan Turap

Material yang digunakan dalam perkuatan turap adalah beton *precast* sebagai material turap *freestanding* dan turap berangker, serta material baja untuk *rod* angker pada turap berangker. Biaya tiap material adalah sebagai berikut:

- Beton *precast* per  $m^3$  = Rp 820.000,00
- Rod angker per kg = Rp 7.100,00

Rekapitulasi total biaya yang dibutuhkan turap *freestanding* di tiap zona ditunjukkan pada Tabel 5.37, sedangkan rekapitulasi total biaya yang dibutuhkan untuk turap berangker ditunjukkan pada Tabel 5.38.

**Tabel 5.37** Rekapitulasi Biaya Perkuatan Turap *Freestanding*

STA 141+150 (Zona 1)		STA 141+350 (Zona 2)		STA 141+600 (Zona 3)	
Biaya Beton Precast/m <sup>3</sup>	Rp 820,000.00	Biaya Beton Precast/m <sup>3</sup>	Rp 820,000.00	Biaya Beton Precast/m <sup>3</sup>	Rp 820,000.00
Luas Turap (cm <sup>2</sup> )	2078	Luas Turap (cm <sup>2</sup> )	2078	Luas Turap (cm <sup>2</sup> )	2078
Luas Turap (m <sup>2</sup> )	0.2078	Luas Turap (m <sup>2</sup> )	0.2078	Luas Turap (m <sup>2</sup> )	0.2078
Lebar Turap (m)	0.996	Lebar Turap (m)	0.996	Lebar Turap (m)	0.996
Tinggi Turap	30	Tinggi Turap	30	Tinggi Turap	30
Jumlah Turap	201	Jumlah Turap	150	Jumlah Turap	151
Total/Zona	Rp 1,023,377,928.48		Rp 763,714,872.00		Rp 768,806,304.48
Total					Rp 2,555,899,104.96

**Tabel 5.38** Rekapitulasi Biaya Perkuatan Turap dengan Angker

STA 141+150 (Zona 1)		STA 141+350 (Zona 2)		STA 141+600 (Zona 3)	
Biaya Beton Precast/m <sup>3</sup>	Rp 820,000.00	Biaya Beton Precast/m <sup>3</sup>	Rp 820,000.00	Biaya Beton Precast/m <sup>3</sup>	Rp 820,000.00
Luas Turap (cm <sup>2</sup> )	1598	Luas Turap (cm <sup>2</sup> )	1598	Luas Turap (cm <sup>2</sup> )	1598
Luas Turap (m <sup>2</sup> )	0.1598	Luas Turap (m <sup>2</sup> )	0.1598	Luas Turap (m <sup>2</sup> )	0.1598
Lebar Turap (m)	0.996	Lebar Turap (m)	0.996	Lebar Turap (m)	0.996
Tinggi Turap	10.00	Tinggi Turap	10.00	Tinggi Turap	10.00
Jumlah Turap	201	Jumlah Turap	150	Jumlah Turap	150
Biaya Rod Angkur/kg	Rp 7,100.00	Biaya Rod Angkur/kg	Rp 7,100.00	Biaya Rod Angkur/kg	Rp 7,100.00
Panjang Rod Angkur (m)	7.50	Panjang Rod Angkur (m)	7.50	Panjang Rod Angkur (m)	7.50
Diameter Rod Angkur (m)	0.06	Diameter Rod Angkur (m)	0.06	Diameter Rod Angkur (m)	0.06
Volume Grouting (m <sup>3</sup> )	0.1	Volume Grouting (m <sup>3</sup> )	0.1	Volume Grouting (m <sup>3</sup> )	0.1
Jarak antar Angkur (m)	1	Jarak antar Angkur (m)	1	Jarak antar Angkur (m)	1
Jumlah Angkur	201	Jumlah Angkur	150	Jumlah Angkur	151
Berat Jenis Baja (kg/m <sup>3</sup> )	7850	Berat Jenis Baja (kg/m <sup>3</sup> )	7850	Berat Jenis Baja (kg/m <sup>3</sup> )	7850
Total/Zona	Rp 499,973,232.90		Rp 373,045,282.75		Rp 374,226,586.08
Total					Rp 1,247,245,101.72

### 5.5.2 Perhitungan Biaya Perkuatan Tanah dengan *Counterweight*

Perkuatan *Counterweight* menggunakan material tanah timbunan (campur bebatuan) sebagai timbunan *counterweight*, harga tanah timbunan ini dianggap sama dengan timbunan yang dimaksud pada Bab IV. Diambil dari PT. Sumber Alam Raharja, biaya tiap material adalah sebagai berikut:

- Biaya material urugan tanah per m<sup>3</sup>: Rp 156.000,-

Rekapitulasi perhitungan biaya *Counterweight* pada setiap zona dapat dilihat pada Tabel 5.39.

**Tabel 5.39** Rekapitulasi Biaya Perkuatan *Counterweight*

STA 141+150 (Zona 1)		STA 141+350 (Zona 2)		STA 141+600 (Zona 3)	
Biaya Material Timbunan/m <sup>3</sup>	Rp156,000.00	Biaya Material Timbunan/m <sup>3</sup>	Rp156,000.00	Biaya Material Timbunan/m <sup>3</sup>	Rp156,000.00
Panjang Timbunan (m)	15.2	Panjang Timbunan (m)	13.5	Panjang Timbunan (m)	13.1
Tinggi Timbunan (m)	1.4	Tinggi Timbunan (m)	1.2	Tinggi Timbunan (m)	1.1
Panjang Zona (m)	200	Panjang Zona (m)	150	Panjang Zona (m)	150
Total/Zona	Rp 663,936,000.00		Rp379,080,000.00		Rp 337,194,000.00
Total					Rp 1,380,210,000.00

### 5.5.3 Perhitungan Biaya Perkuatan Tanah dengan Cerucuk

Material yang digunakan pada perkuatan cerucuk adalah beton *precast*, biaya tiap material adalah sebagai berikut:

- Beton *precast* per m<sup>3</sup> = Rp 820.000,00

Rekapitulasi perhitungan biaya cerucuk pada setiap zona dapat dilihat pada Tabel 5.40.

**Tabel 5.40** Rekap Biaya Perkuatan Cerucuk

STA 141+150 (Zona 1)		STA 141+350 (Zona 2)		STA 141+600 (Zona 3)	
Biaya Beton Precast/m <sup>3</sup>	Rp820,000.00	Biaya Beton Precast/m <sup>3</sup>	Rp820,000.00	Biaya Beton Precast/m <sup>3</sup>	Rp820,000.00
V cerucuk 30 cm	0.706858347	V cerucuk 30 cm	0.706858347	V cerucuk 30 cm	0.706858347
Kedalaman	10	Kedalaman	10	Kedalaman	10
V cerucuk 18 cm	0.254469005	V cerucuk 18 cm	0.254469005	V cerucuk 18 cm	0.254469005
V 1 cerucuk	0.452389342	V 1 cerucuk	0.452389342	V 1 cerucuk	0.452389342
Jumlah	603	Jumlah	300	Jumlah	300
Volume Total	272.7907733	Volume Total	135.7168026	Volume Total	135.7168026
Biaya Total	Rp 223,688,434.10	Biaya Total	Rp111,287,778.16	Biaya Total	Rp111,287,778.16
Biaya 1 cerucuk	Rp 370,959.26				
Total Semua Biaya	Rp 446,263,990.42				

**Tabel 5.41** Rekapitulasi Biaya Alternatif Perkuatan

Jenis Perkuatan	Biaya Total
Turap <i>Freestanding</i>	Rp 1,738,045,334.26
Turap Berangker	Rp 1,247,245,101.72
<i>Counterweight</i>	Rp 1,380,210,000.00
Cerucuk	Rp 446,263,990.42

Berdasarkan rekapitulasi tersebut maka dapat diketahui bahwa perencanaan paling ekonomis menurut biaya material adalah dengan alternatif cerucuk dengan biaya material sebesar Rp 446.263.990,00.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## **BAB VI**

### **KESIMPULAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan maka dalam perencanaan Tugas Akhir ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil analisis timbunan sebelum diberi timbunan baru menggunakan program bantu adalah aman dengan SF diatas 1.3, sedangkan setelah diberi timbunan baru untuk jalur double track di sebelah timbunan didapatkan *safety factor* (SF) yang kurang dari 1 (0.99) yakni pada zona 1 (STA 141+100 – STA 141+300), sedangkan pada zona 2 (STA 141+300 – STA 141+450) dan zona 3 (STA 141+450 – STA 141+600) kondisi SF yang didapatkan kritis (1.02 pada zona 2 dan 1.06 pada zona 3). Terlihat adanya penurunan SF yang cukup tinggi disebabkan oleh penambahan beban timbunan baru. Dari hasil SF diatas maka tanah timbunan mengalami kelongsoran pada zona 1, dan perlu adanya perkuatan pada zona 1 dan kondisi kritis pada zona 2 dan 3 sehingga perlu adanya perkuatan pada zona 1 sampai zona 3.
2. Alternatif perencanaan perkuatan timbunan menggunakan cerucuk (*micropile*) *Prestressed Concrete Spun Pile* diameter 300 mm dari PT Wijaya Karya Beton. Dipasang sedalam 10 m dengan jarak 1 m dan tiap baris berjumlah 3 untuk zona 1, 2 untuk zona 2, dan 2 untuk zona 3. Jumlah total cerucuk yang dipasang pada zona 1 603 buah, pada zona 2 150 buah, dan pada zona 3 150 buah.
3. Alternatif perencanaan perkuatan timbunan menggunakan *Counterweight* atau tanah yang di timbun disamping timbunan *existing*, dengan beberapa percobaan SF sudah mendekati persyaratan (lihat Tabel 5.26), maka dipilihlah jumlah volume *Counterweight* yang paling efektif pada zona 1 adalah 4256 m<sup>3</sup> (panjang 200m, lebar 15.2 m, dan

tinggi 1.4 m), zona 2 2430 m<sup>3</sup> (panjang 150m, lebar 13.5 m, dan tinggi 1.2 m) dan 2162 m<sup>3</sup> (panjang 150m, lebar 13.1 m, dan tinggi 1.1 m).

4. Alternatif perencanaan perkuatan timbunan menggunakan perkuatan turap menggunakan W500 A1000 berjumlah 2 cerucuk dengan panjang 15 m untuk turap tanpa ankur, dan W400 A1000 panjang 10 m, dengan baja anker diameter 6 m, panjang 7.5 m, dan dimensi beton grouting diameter 0.3 m, panjang 1 m untuk turap beranker.
5. Total biaya material yang dibutuhkan untuk alternative menggunakan turap beton tanpa ankur adalah Rp 2.555.899.304, turap beton beranker Rp 1.247.245.101, *counterweight* adalah Rp 1.380.210.000, dan cerucuk (*micropile*) adalah Rp 466.263.990. Maka dengan perbandingan harga tersebut alternatif yang digunakan adalah perkuatan tanah dengan menggunakan cerucuk (*micropile*).

## 6.2 Saran

Setelah dilakukan analisis dan perhitungan, penulis memberikan saran yaitu:

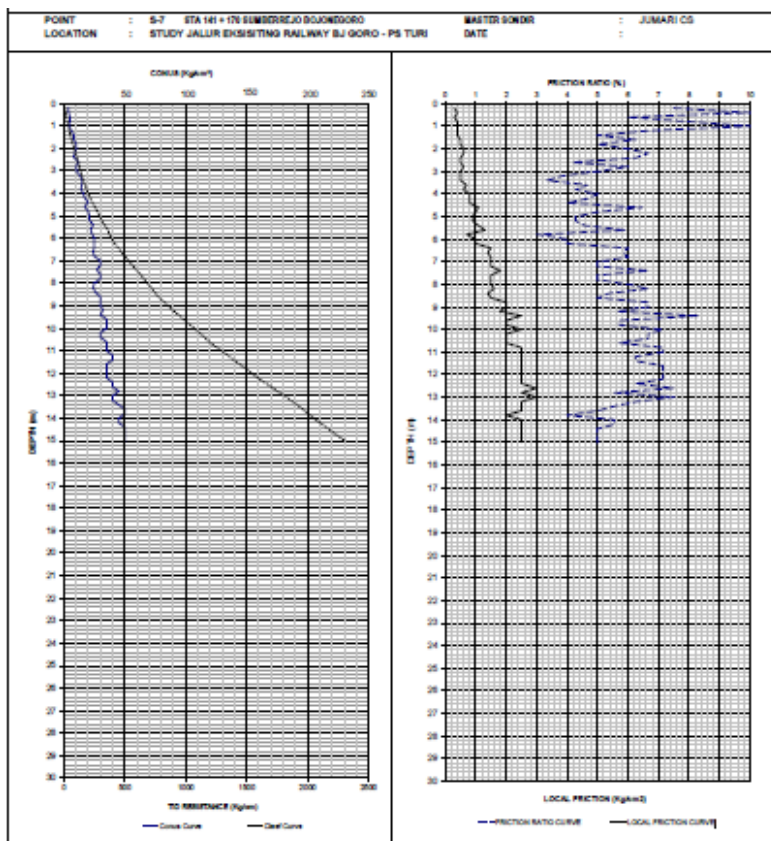
1. Perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai optimasi perencanaan cerucuk.
2. Perhitungan manual terkadang jauh berbeda dengan analisis software maka digunakan yang terkritis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Das, Braja M. 1988. **Mekanika Tanah: Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik jilid 1**. Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B.M. Surabaya: Erlangga.
- Das, Braja M. 1988. **Mekanika Tanah: Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik jilid 2**. Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B.M. Surabaya: Erlangga.
- Mochtar, Noor Endah. 2012. **Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah**. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS.
- Wahyudi, Herman. 1999. **Daya Dukung Pondasi Dalam**. Surabaya: ITS Press.
- Wahyudi, Herman. 1999. **Daya Dukung Pondasi Dangkal**. Surabaya: ITS Press.
- Sosrodarsono, S dan Nakazawa, K. 2000. **Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi**. Jakarta : Pradnya Paramita.
- Holtz, R.D. dan Kovacs, W.D. 1981. **An Introduction to Geotechnical Engineering**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Das, Braja M. 1990. **Principles of Foundation Engineering**. Boston: PWS-KENT
- Bowles, J.E. 1997. **Foundation Analysis and Design International Fifth Edition**. The McGraw-Hill Companies

Das, Braja M. dan Sobhan, K. 2010. **Principles of Geotechnical Engineering Eighth Edition, SI.** USA: Cengage Learning.

# Lampiran 1.a Data Tanah Asli



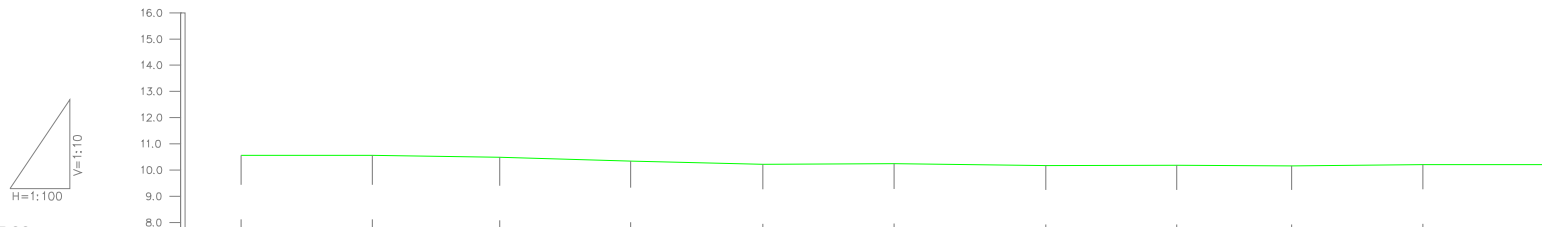
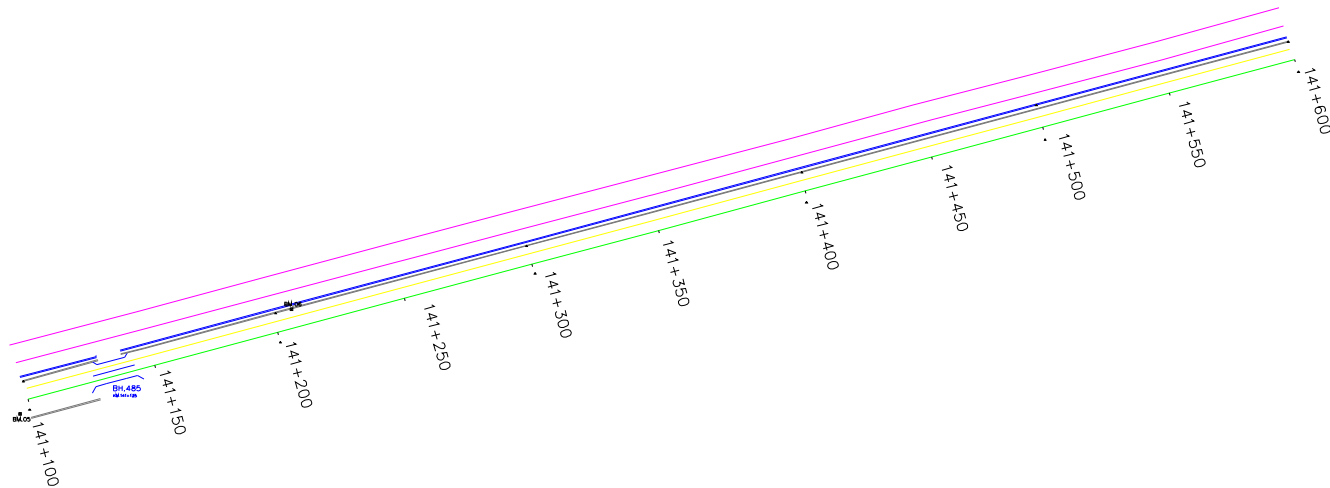
## Lampiran 1.b Parameter Tanah Hasil Analisis dengan Metode Korelasi

Kedalaman (m)	qC (kg/cm <sup>2</sup> )	Rf (%)	Soil Type	Nilai NSPT (dari kolerasi)	Koreksi Nilai NSPT untuk N>15	Konsistensi Tanah	Taksiran harga (Cu)	γ sat (kN/m <sup>3</sup> )	Gs	γ dry (kN/m <sup>3</sup> )	C (kg/cm <sup>2</sup> )	C'(kg/cm <sup>2</sup> )	Poisson Ratio V	Modulus Young (kN/cm <sup>2</sup> )	φ (friction angle)
0.00	5.00	7.50	Clays	1.25	1.25	Sangat Lunak (Very Soft)	0.10	15.25	2.71	12	1.00	0.07	0.20	0.200	0
0.20	5.00	7.50	Clays	1.25	1.25	Sangat Lunak (Very Soft)	0.10	15.25	2.71	12	1.00	0.07	0.20	0.200	0
0.40	5.00	10.00	Clays	1.25	1.25	Sangat Lunak (Very Soft)	0.10	15.25	2.71	12	1.00	0.07	0.20	0.200	0
0.60	6.00	6.00	Clays	1.50	1.50	Sangat Lunak (Very Soft)	0.10	15.50	2.71	12	1.50	0.07	0.20	0.200	0
0.80	6.00	8.00	Clays	1.50	1.50	Sangat Lunak (Very Soft)	0.10	15.50	2.71	12	1.50	0.07	0.20	0.200	0
1.00	5.00	10.00	Clays	1.25	1.25	Sangat Lunak (Very Soft)	0.14	15.25	2.71	12	1.00	0.09	0.20	0.200	0
1.20	7.00	7.00	Clays	1.75	1.75	Sangat Lunak (Very Soft)	0.14	15.75	2.72	12	1.50	0.09	0.20	0.200	0
1.40	8.00	5.00	Clays	2.00	2.00	Sangat Lunak (Very Soft)	0.17	16.00	2.73	12	1.50	0.11	0.20	0.200	0
1.60	9.00	6.20	Clays	2.25	2.25	Sangat Lunak (Very Soft)	0.17	16.25	2.73	12	1.75	0.11	0.20	0.200	0
1.80	10.00	5.00	Clays	2.50	2.50	Sangat Lunak (Very Soft)	0.20	16.50	2.74	12	1.75	0.13	0.20	0.200	0
2.00	10.00	5.80	Clays	2.50	2.50	Sangat Lunak (Very Soft)	0.20	16.50	2.74	12	1.75	0.13	0.20	0.200	0
2.20	10.00	6.60	Clays	2.50	2.50	Sangat Lunak (Very Soft)	0.20	16.50	2.74	12	1.75	0.13	0.20	0.200	0
2.40	9.00	6.20	Clays	2.25	2.25	Sangat Lunak (Very Soft)	0.17	16.25	2.73	12	1.75	0.11	0.20	0.200	0
2.60	10.00	4.20	Clays	2.50	2.50	Sangat Lunak (Very Soft)	0.20	16.50	2.74	12	1.75	0.13	0.20	0.200	0
2.80	10.00	6.00	Clays	2.50	2.50	Sangat Lunak (Very Soft)	0.20	16.50	2.74	12	1.75	0.13	0.20	0.200	0
3.00	10.00	5.00	Clays	2.50	2.50	Sangat Lunak (Very Soft)	0.20	16.50	2.74	12	1.75	0.13	0.20	0.200	0
3.20	14.00	4.00	Clayey Silts	3.50	3.50	Lunak (Soft)	0.25	17.50	2.68	12.3	2.25	0.17	0.20	0.200	0
3.40	15.00	3.40	Clayey Silts	3.75	3.75	Lunak (Soft)	0.25	17.75	2.68	12.3	2.25	0.17	0.20	0.200	0
3.60	13.00	4.60	Clays	3.25	3.25	Lunak (Soft)	0.25	17.25	2.72	12	2.00	0.17	0.20	0.200	0
3.80	13.00	4.30	Clays	3.25	3.25	Lunak (Soft)	0.25	17.25	2.75	12	2.00	0.17	0.20	0.200	0
4.00	16.00	5.00	Clays	4.00	4.00	Lunak (Soft)	0.27	18.00	2.74	12	2.50	0.18	0.20	0.200	0
4.20	18.00	4.80	Clays	4.50	4.50	Lunak (Soft)	0.27	16.50	2.76	12	2.75	0.18	0.20	0.200	0
4.40	20.00	4.00	Clayey Silts	5.00	5.00	Lunak (Soft)	0.30	17.00	2.69	12.3	3.00	0.20	0.20	0.200	0
4.60	18.00	6.50	Clays	4.50	4.50	Lunak (Soft)	0.27	16.50	2.73	12	2.75	0.18	0.20	0.200	0
4.80	20.00	5.00	Clays	5.00	5.00	Lunak (Soft)	0.30	17.00	2.72	12	3.00	0.20	0.20	0.200	0
5.00	21.00	4.30	Clayey Silts	5.25	5.25	Menengah (Medium)	0.30	17.25	2.67	12.3	3.50	0.20	0.20	0.300	0
5.20	21.00	4.30	Clayey Silts	5.25	5.25	Menengah (Medium)	0.30	17.25	2.68	12.3	3.50	0.20	0.20	0.300	0
5.40	25.00	4.80	Clays	6.25	6.25	Menengah (Medium)	0.45	16.06	2.71	12.2	4.25	0.30	0.20	0.300	0
5.60	22.00	5.80	Clays	5.50	5.50	Menengah (Medium)	0.35	17.50	2.71	12.3	3.50	0.23	0.20	0.300	0
5.80	24.00	5.50	Clayey Silts	6.00	6.00	Menengah (Medium)	0.40	18.00	2.68	12.3	4.00	0.27	0.20	0.300	0
6.00	25.00	4.00	Clayey Silts	6.25	6.25	Menengah (Medium)	0.40	16.06	2.69	12.3	4.25	0.27	0.20	0.300	0
6.20	25.00	4.00	Clayey Silts	6.25	6.25	Menengah (Medium)	0.45	16.06	2.67	12.3	4.25	0.30	0.20	0.300	0
6.40	25.00	6.00	Clays	6.25	6.25	Menengah (Medium)	0.45	16.06	2.68	12.3	4.25	0.30	0.20	0.300	0
6.60	24.00	5.80	Clays	6.00	6.00	Menengah (Medium)	0.40	18.00	2.7	12	4.00	0.27	0.20	0.300	0
6.80	24.00	6.00	Clays	6.00	6.00	Menengah (Medium)	0.40	18.00	2.71	12	4.00	0.27	0.20	0.300	0
7.00	30.00	5.00	Clays	7.50	7.50	Menengah (Medium)	0.50	16.33	2.72	12	5.00	0.33	0.20	0.300	0
7.20	30.00	5.00	Clays	7.50	7.50	Menengah (Medium)	0.50	16.33	2.73	12	5.00	0.33	0.20	0.300	0
7.40	28.00	6.60	Clays	7.00	7.00	Menengah (Medium)	0.47	16.22	2.75	12	5.00	0.31	0.20	0.300	0

Kedalaman (m)	qC (kg/cm <sup>2</sup> )	Rf (%)	Soil Type	Nilai NSPT (dari kolerasi)	Koreksi Nilai NSPT untuk N>15	Konsistensi Tanah	Taksiran harga (Cu)	$\gamma$ sat (kN/m <sup>3</sup> )	Gs	$\gamma$ dry (kN/m <sup>3</sup> )	C (kg/cm <sup>2</sup> )	C'(kg/cm <sup>2</sup> )	Poisson Ratio V	Modulus Young (kN/cm <sup>2</sup> )	$\phi$ (friction angle)
7.60	30.00	5.00	Clays	7.50	7.50	Menengah (Medium)	0.50	16.33	2.71	12	5.00	0.33	0.20	0.300	0
7.80	30.00	5.00	Clays	7.50	7.50	Menengah (Medium)	0.50	16.33	2.73	12	5.00	0.33	0.20	0.300	0
8.00	25.00	6.00	Clays	6.25	6.25	Menengah (Medium)	0.45	16.06	2.76	12	4.25	0.30	0.20	0.300	0
8.20	24.00	6.60	Clays	6.00	6.00	Menengah (Medium)	0.40	16.00	2.71	12	4.00	0.27	0.20	0.300	0
8.40	26.00	5.40	Clays	6.50	6.50	Menengah (Medium)	0.46	16.11	2.72	12	4.50	0.31	0.20	0.300	0
8.60	30.00	5.00	Clays	7.50	7.50	Menengah (Medium)	0.50	16.33	2.71	12	5.00	0.33	0.20	0.300	0
8.80	30.00	6.60	Clays	7.50	7.50	Menengah (Medium)	0.50	16.33	2.71	12	5.00	0.33	0.20	0.300	0
9.00	30.00	6.60	Clays	7.50	7.50	Menengah (Medium)	0.50	16.33	2.73	12	5.00	0.33	0.20	0.300	0
9.20	31.00	5.70	Clays	7.75	7.75	Menengah (Medium)	0.50	16.39	2.71	12	5.25	0.33	0.20	0.300	0
9.40	30.00	8.30	Clays	7.50	7.50	Menengah (Medium)	0.50	16.33	2.71	12	5.00	0.33	0.20	0.300	0
9.60	35.00	5.70	Clays	8.75	8.75	Menengah (Medium)	0.55	16.61	2.73	12	6.00	0.37	0.20	0.300	0
9.80	35.00	5.70	Clays	8.75	8.75	Menengah (Medium)	0.55	16.61	2.72	12	6.00	0.37	0.20	0.300	0
10.00	35.00	7.00	Clays	8.75	8.75	Menengah (Medium)	0.55	16.61	2.74	12	6.00	0.37	0.20	0.300	0
10.20	30.00	6.70	Clays	7.50	7.50	Menengah (Medium)	0.50	16.33	2.71	12	5.00	0.33	0.20	0.300	0
10.40	30.00	6.70	Clays	7.50	7.50	Menengah (Medium)	0.50	16.33	2.72	12	5.00	0.33	0.20	0.300	0
10.60	35.00	5.70	Clays	8.75	8.75	Menengah (Medium)	0.55	16.61	2.73	12	6.00	0.37	0.20	0.300	0
10.80	35.00	7.20	Clays	8.75	8.75	Menengah (Medium)	0.55	16.61	2.71	12	6.00	0.37	0.20	0.300	0
11.00	35.00	7.20	Clays	8.75	8.75	Menengah (Medium)	0.55	16.61	2.72	12	6.00	0.37	0.20	0.300	0
11.20	40.00	6.20	Clays	10.00	10.00	Menengah (Medium)	0.60	16.89	2.75	12	7.00	0.40	0.20	0.300	0
11.40	40.00	6.20	Clays	10.00	10.00	Menengah (Medium)	0.60	16.89	2.73	12	7.00	0.40	0.20	0.300	0
11.60	35.00	7.20	Clays	8.75	8.75	Menengah (Medium)	0.60	16.61	2.75	12	6.00	0.40	0.20	0.300	0
11.80	35.00	7.20	Clays	8.75	8.75	Menengah (Medium)	0.55	16.61	2.74	12	6.00	0.37	0.20	0.300	0
12.00	35.00	7.20	Clays	8.75	8.75	Menengah (Medium)	0.55	16.61	2.71	12	6.00	0.37	0.20	0.300	0
12.20	35.00	7.20	Clays	8.75	8.75	Menengah (Medium)	0.55	16.61	2.7	12	6.00	0.37	0.20	0.300	0
12.40	40.00	6.20	Clays	10.00	10.00	Menengah (Medium)	0.60	16.89	2.72	12	7.00	0.40	0.20	0.300	0
12.60	40.00	7.40	Clays	10.00	10.00	Menengah (Medium)	0.60	16.89	2.7	12	7.00	0.40	0.20	0.300	0
12.80	45.00	5.60	Clays	11.43	11.43	Kaku (Stiff)	0.63	17.21	2.71	12	7.50	0.42	0.20	0.300	0
13.00	40.00	7.40	Clays	10.00	10.00	Menengah (Medium)	0.60	16.89	2.71	12	7.00	0.40	0.20	0.300	0
13.20	40.00	6.40	Clays	10.00	10.00	Menengah (Medium)	0.60	16.89	2.72	12	7.00	0.40	0.20	0.300	0
13.40	45.00	5.40	Clays	11.43	11.43	Kaku (Stiff)	0.63	17.21	2.75	12	7.50	0.42	0.20	0.300	0
13.60	50.00	5.00	Clayey Silts	12.86	12.86	Kaku (Stiff)	0.70	17.52	2.69	12.3	8.50	0.47	0.20	0.500	0
13.80	50.00	4.00	Clayey Silts	12.86	12.86	Kaku (Stiff)	0.70	17.52	2.69	12.3	8.50	0.47	0.20	0.500	0
14.00	45.00	5.60	Clays	11.43	11.43	Kaku (Stiff)	0.63	17.21	2.7	12.3	7.50	0.42	0.20	0.500	0
14.20	45.00	5.60	Clays	11.43	11.43	Kaku (Stiff)	0.63	17.21	2.72	12.3	7.50	0.42	0.20	0.500	0
14.40	50.00	5.00	Clayey Silts	12.86	12.86	Kaku (Stiff)	0.70	17.52	2.69	12.3	8.50	0.47	0.20	0.500	0
14.60	50.00	5.00	Clayey Silts	12.86	12.86	Kaku (Stiff)	0.70	17.52	2.69	12.3	8.50	0.47	0.20	0.500	0
14.80	50.00	5.00	Clayey Silts	12.86	12.86	Kaku (Stiff)	0.70	17.52	2.68	12.3	8.50	0.47	0.20	0.500	0
15.00	50.00	5.00	Clayey Silts	12.86	12.86	Kaku (Stiff)	0.70	17.52	2.71	12.3	8.50	0.47	0.20	0.500	0

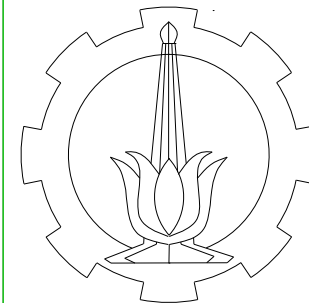
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*





DATUM: 7.00 m

EXISTING	KILOMETER POST	141+100	141+150	141+200	141+250	141+300	141+350	141+400	141+450	141+500	141+550	141+600
	KILOMETER SURVEY	0.000	50.000	95.529	148.529	198.526	248.526	306.772	356.772	400.603	450.603	500.095
	ELEVASI REL	10.566	10.057	10.493	10.344	10.223	10.249	10.166	10.182	10.164	10.213	10.205
	LURUS / LENGKUNG	LURUS				LURUS				LURUS		



TUGAS AKHIR

LAYOUT STA 141+100 - STA  
141+600

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Yudhi Lastiasih, ST.,  
MT.,  
Putu Tantri KS, ST., MT.

MAHASISWA

YUDHA PRATAMA NARRA P  
3113100001

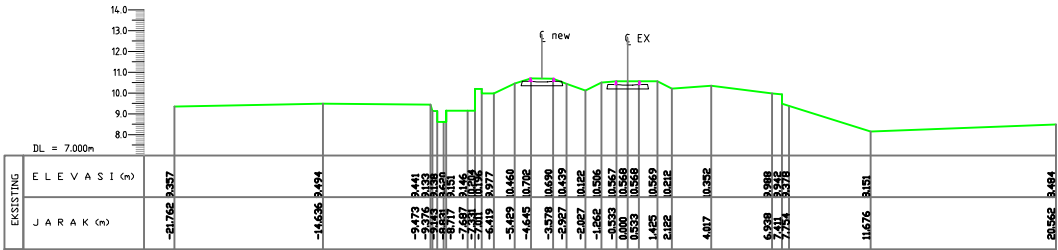
LAMPIRAN

2

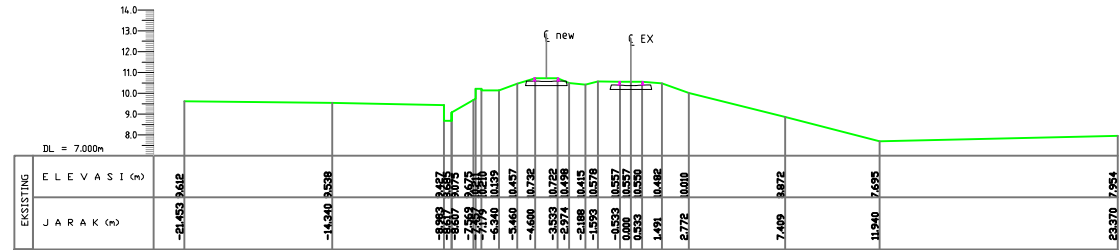
HALAMAN

119

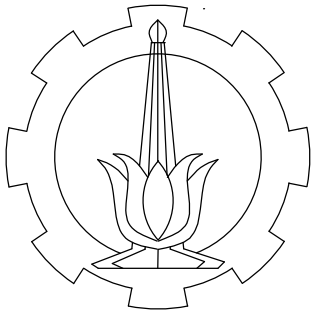
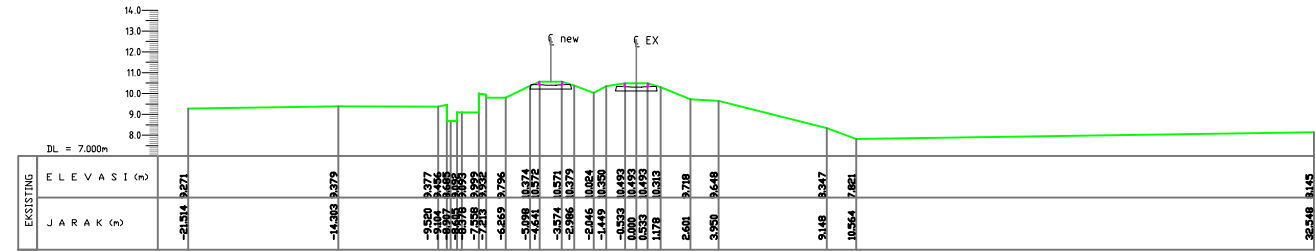
KM.141+100



KM.141+150



KM.141+200



TUGAS AKHIR

POTONGAN STA 141+100 - STA 141+200

Dosen PEMBIMBING

Dr. Yudhi Lastiasih, ST., MT.,  
Putu Tantri KS, ST., MT.

MAHASISWA

YUDHA PRATAMA NARRA P  
3113100001

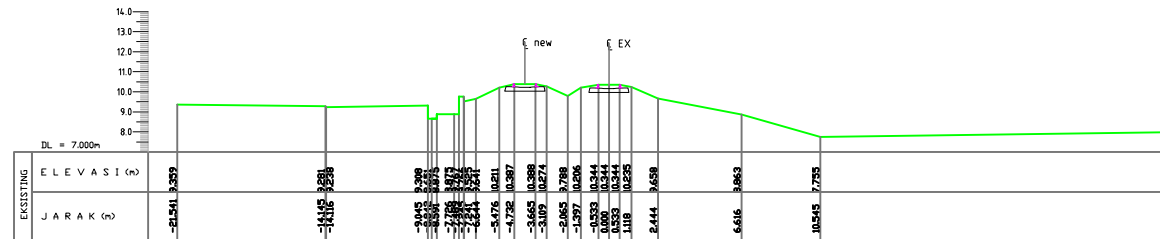
LAMPIRAN

2

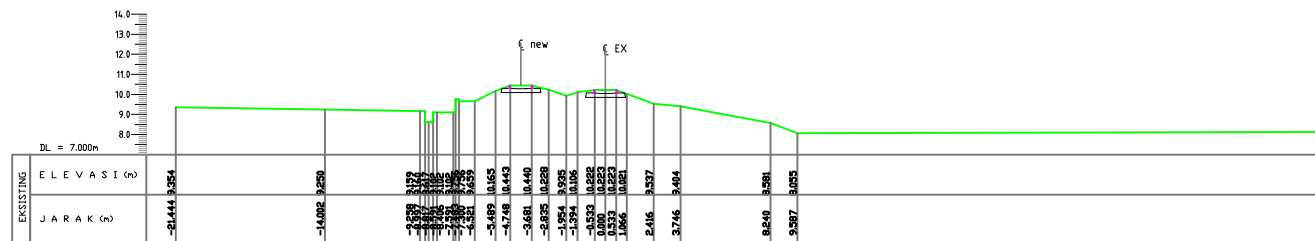
HALAMAN

120

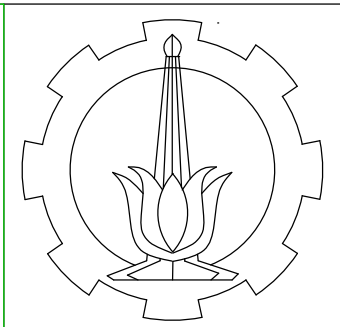
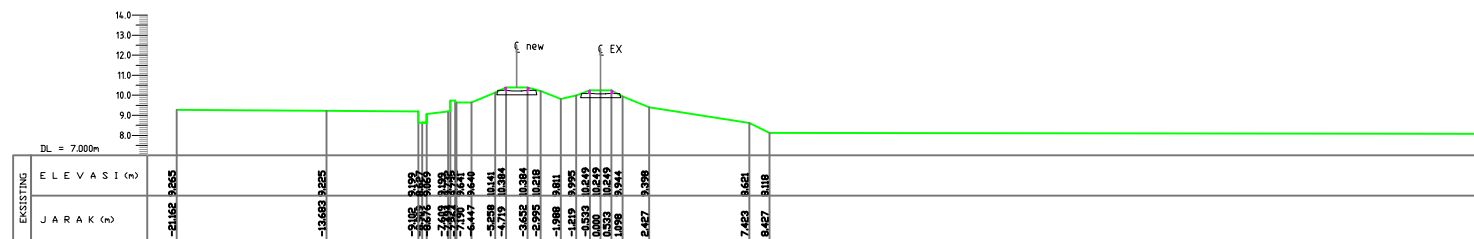
KM.141+250



KM.141+300



KM.141+350



TUGAS AKHIR

LAYOUT STA 141+250 - STA 141+350

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Yudhi Lastiasih, ST.,  
MT.,  
Putu Tantri KS, ST., MT.

MAHASISWA

YUDHA PRATAMA NARRA P  
3113100001

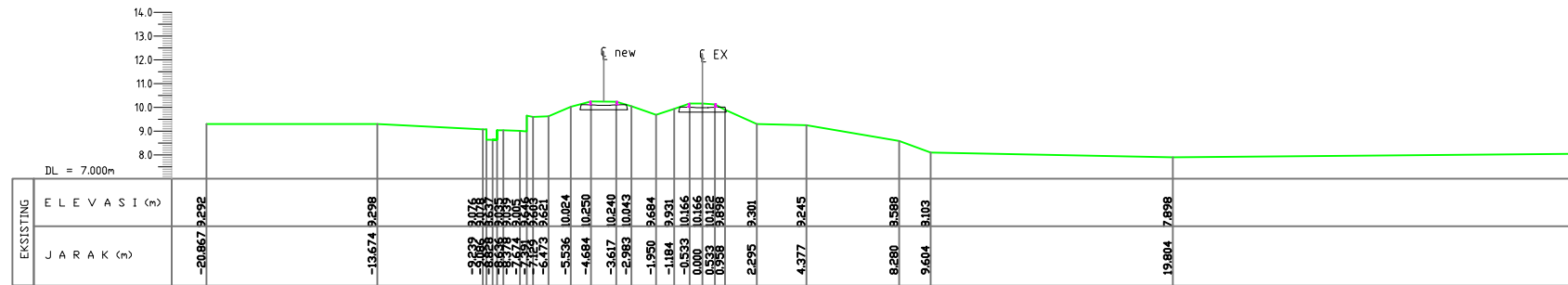
LAMPIRAN

2

HALAMAN

121

KM.141+400



TUGAS AKHIR

LAYOUT STA 141+400 - STA 141+500

Dosen Pembimbing

Dr. Yudhi Lastiasih, ST., MT.,  
Putu Tantri KS, ST., MT.

MAHASISWA

YUDHA PRATAMA NARRA P  
3113100001

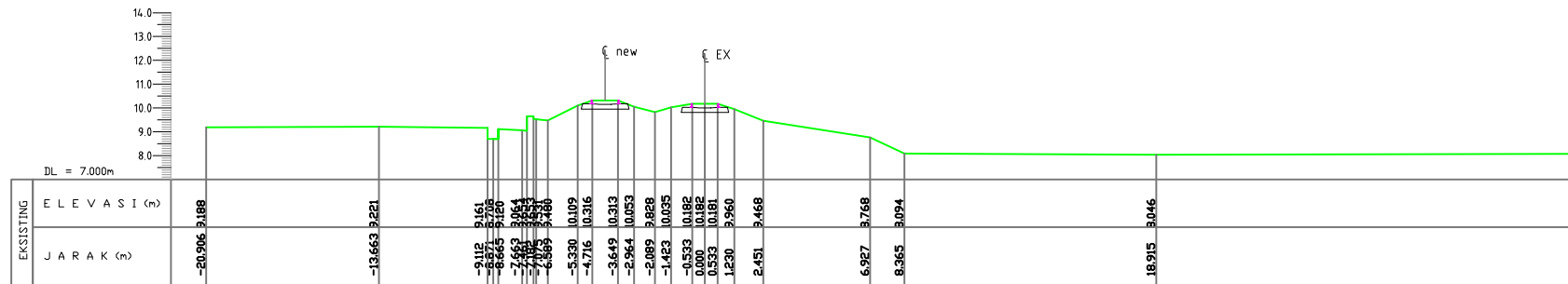
LAMPIRAN

2

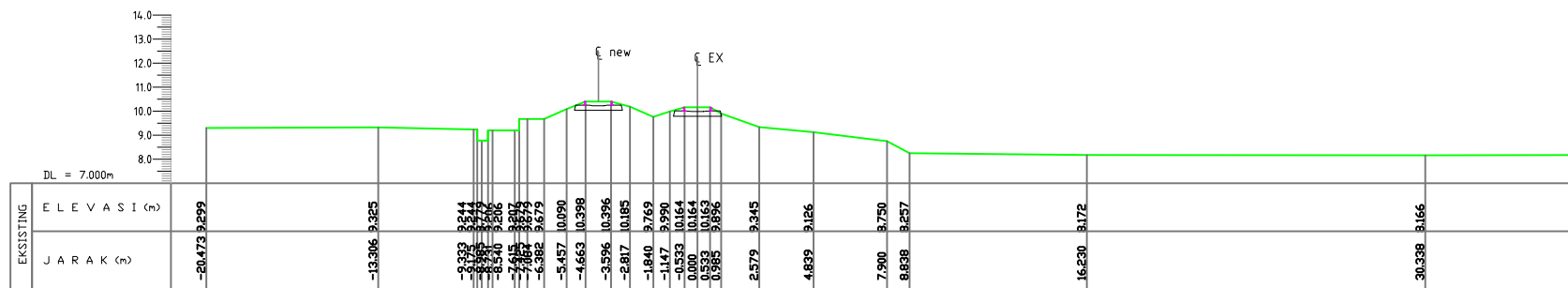
HALAMAN

122

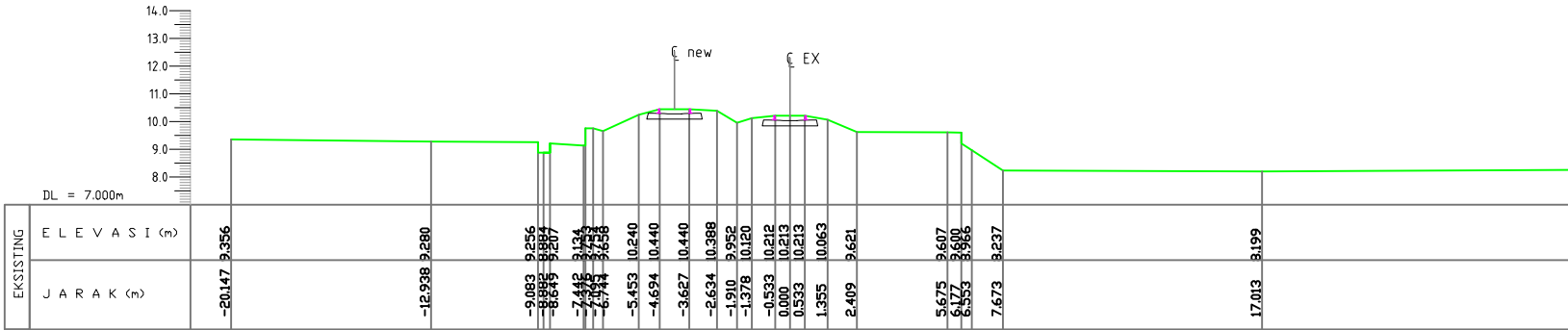
KM.141+450



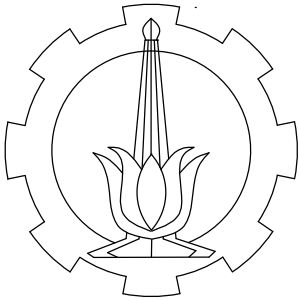
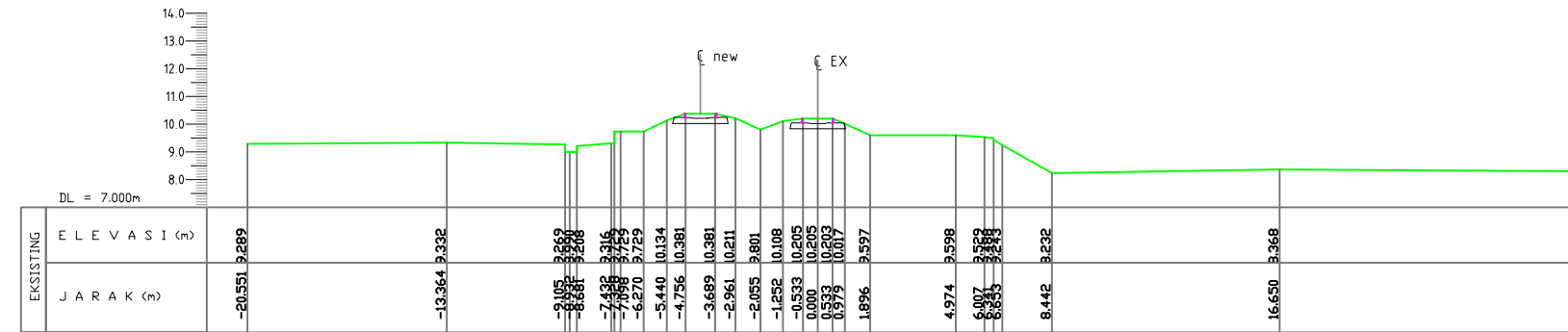
KM.141+500



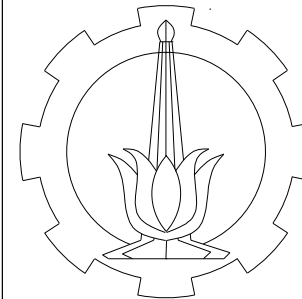
KM.141+550



KM.141+600



TUGAS AKHIR
LAYOUT STA 141+550 - STA 141+600
DOSEN PEMBIMBING
Dr. Yudhi Lastiasih, ST., MT., Putu Tantri KS, ST., MT.
MAHASISWA
YUDHA PRATAMA NARRA P 3113100001
LAMPIRAN
2
HALAMAN
123



TUGAS AKHIR

Gambar Potongan Melintang  
Counterweight

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Yudhi Lastiasih, ST.,  
MT.,  
Putu Tantri KS, ST., MT.

MAHASISWA

YUDHA PRATAMA NARRA P  
3113100001

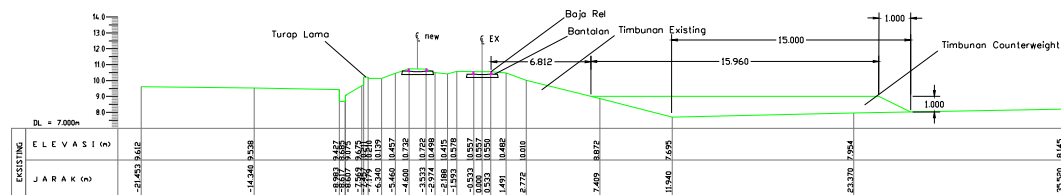
LAMPIRAN

2

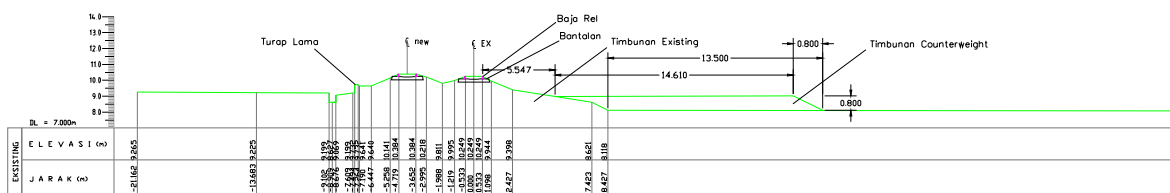
HALAMAN

124

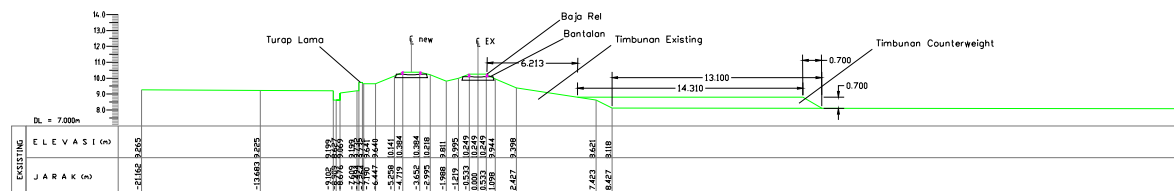
KM.141+150



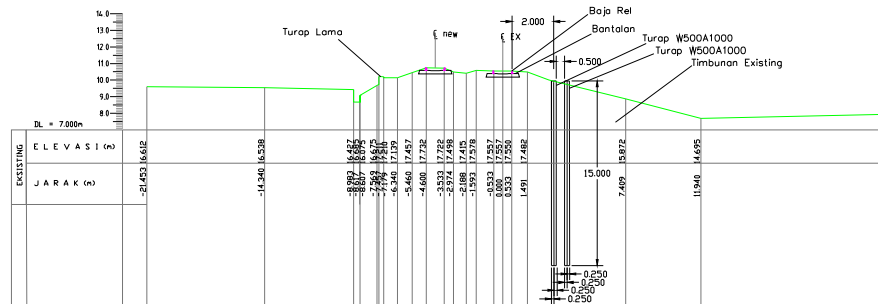
KM.141+350



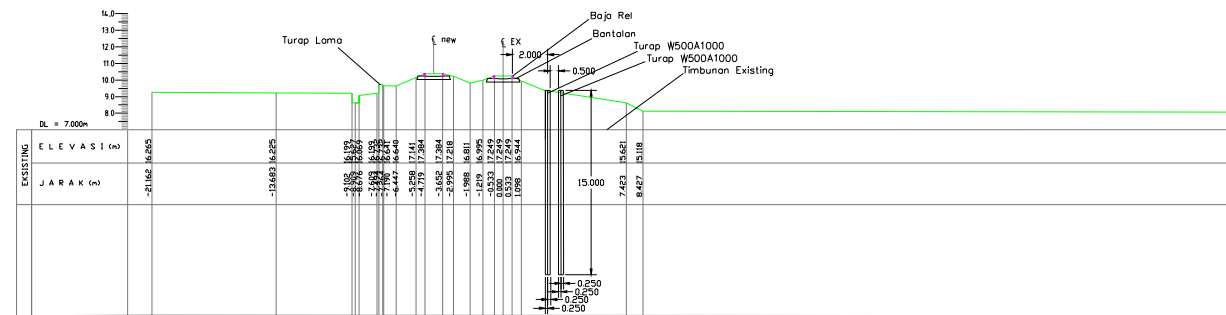
KM.141+600



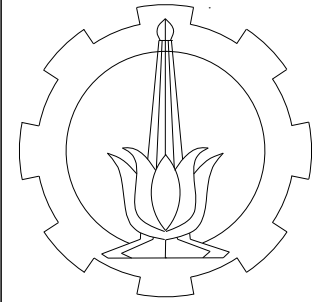
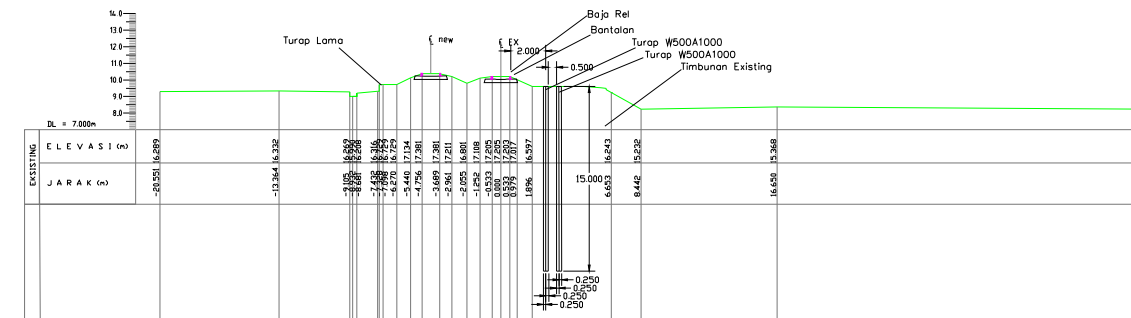
KM.141+150



KM.141+350



KM.141+600



TUGAS AKHIR

Gambar Potongan Melintang Turap

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Yudhi Lastiasih, ST.,  
MT.,  
Putu Tantri KS, ST., MT.

MAHASISWA

YUDHA PRATAMA NARRA P  
3113100001

LAMPIRAN

2

HALAMAN

125



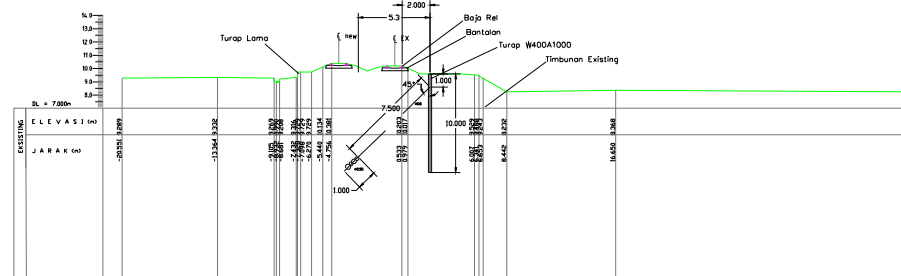
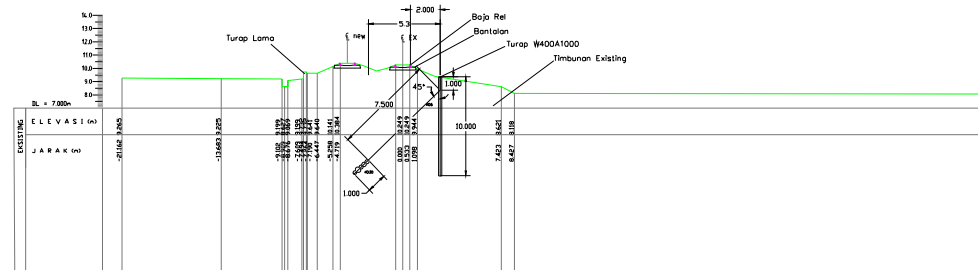
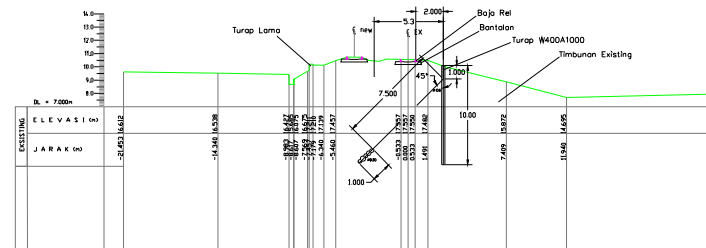
DOSEN PEMBIMBING

MAHASISWA

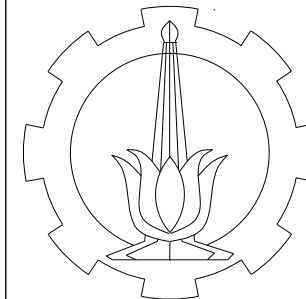
## LAMPIRAN

HALAMAN

126







TUGAS AKHIR

Gambar Potongan Melintang  
Cerucuk

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Yudhi Lastiasih, ST.,  
MT.,  
Putu Tantri KS, ST., MT.

MAHASISWA

YUDHA PRATAMA NARRA P  
3113100001

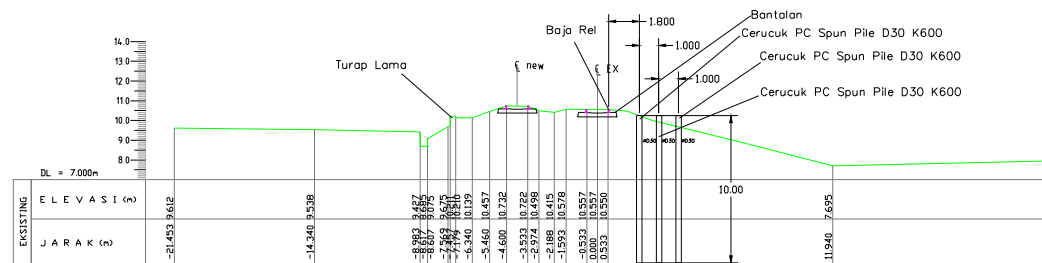
LAMPIRAN

2

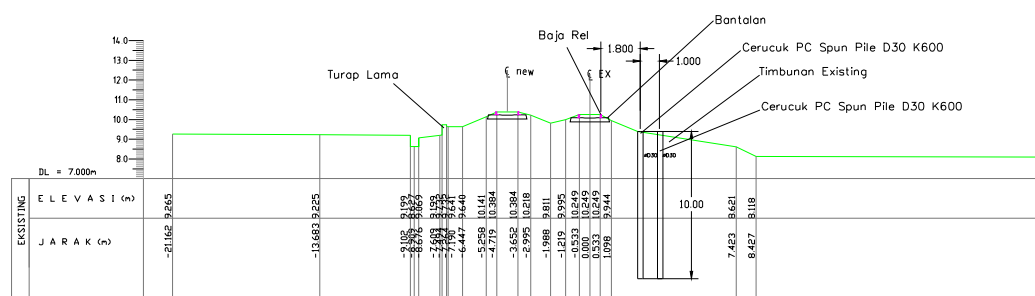
HALAMAN

127

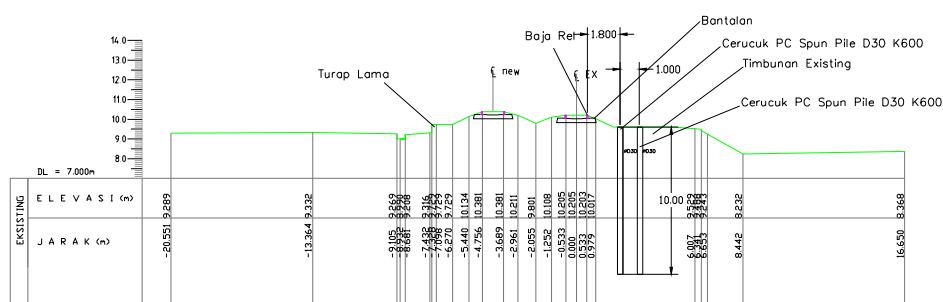
KM.141+150



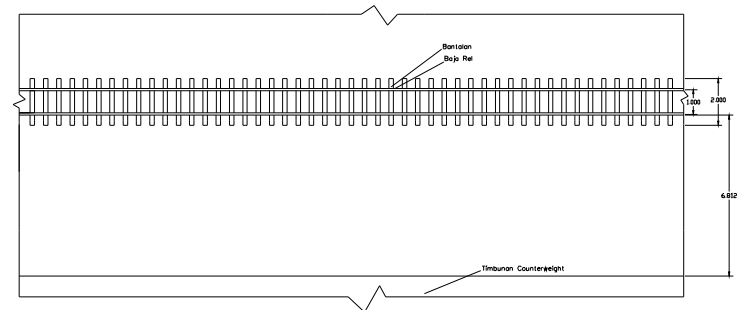
KM.141+350



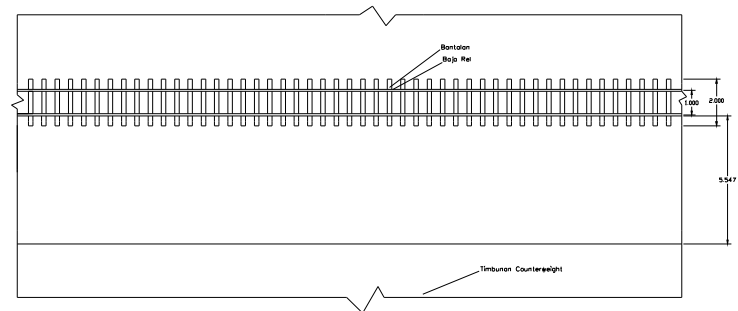
KM.141+600



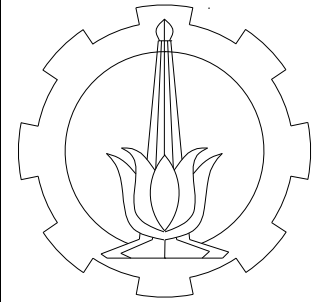
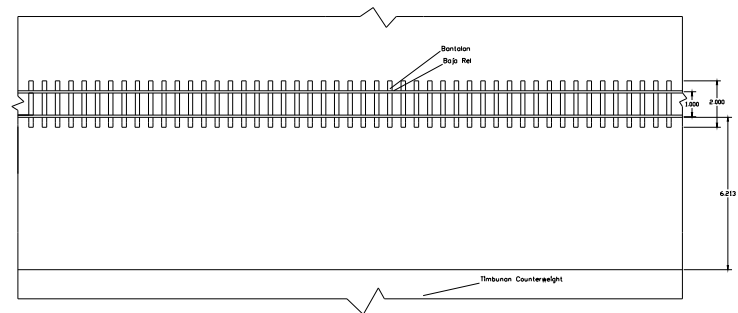
KM.141+150



KM.141+350



KM.141+600



TUGAS AKHIR

Gambar Tampak Atas  
Counterweight

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Yudhi Lastiasih, ST.,  
MT.,  
Putu Tantri KS, ST., MT.

MAHASISWA

YUDHA PRATAMA NARRA P  
3113100001

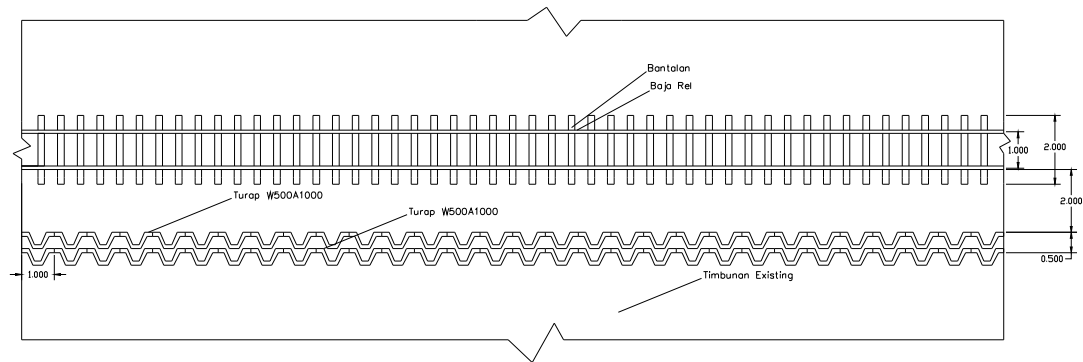
LAMPIRAN

2

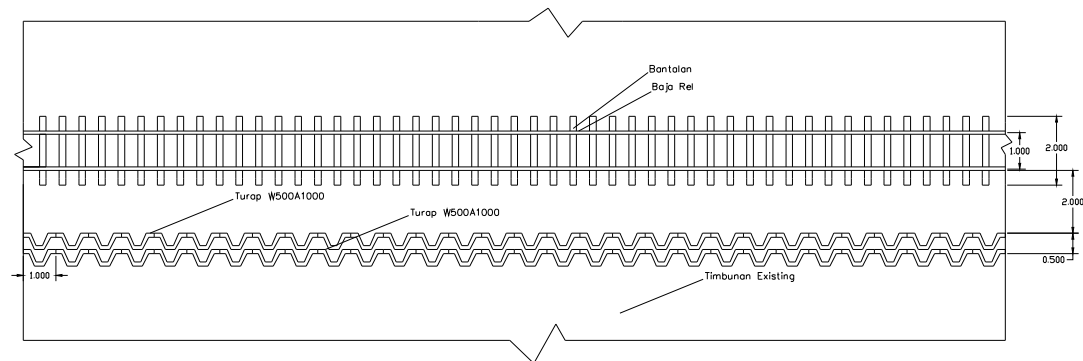
HALAMAN

128

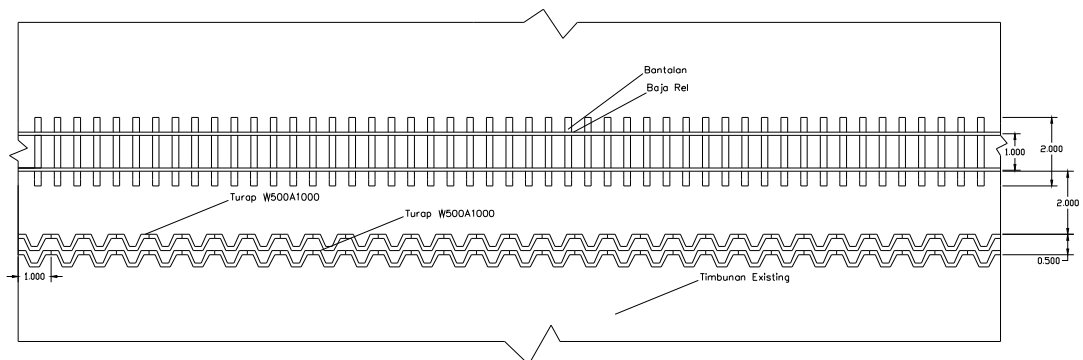
KM.141+150



KM.141+350



KM.141+600



TUGAS AKHIR

Gambar Tampak Atas Turap

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Yudhi Lastiasih, ST.,  
MT.,  
Putu Tantri KS, ST., MT.

MAHASISWA

YUDHA PRATAMA NARRA P  
3113100001

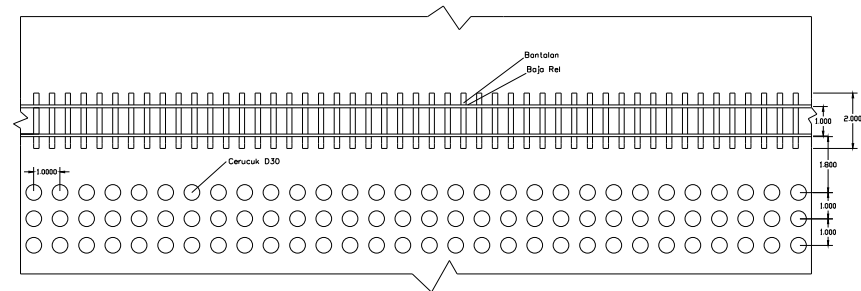
LAMPIRAN

2

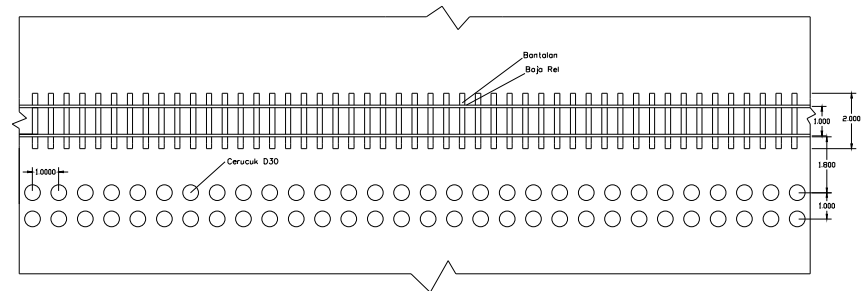
HALAMAN

129

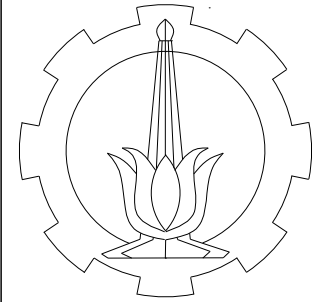
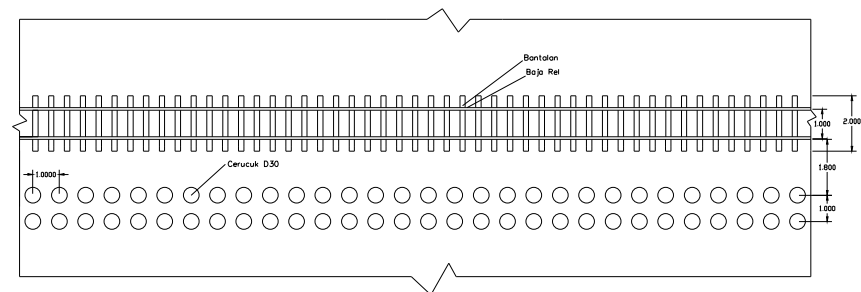
KM.141+150



KM.141+350



KM.141+600



TUGAS AKHIR

Gambar Tampak Atas  
Cerucuk

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Yudhi Lastiasih, ST.,  
MT.,  
Putu Tantri KS, ST., MT.

MAHASISWA

YUDHA PRATAMA NARRA P  
3113100001

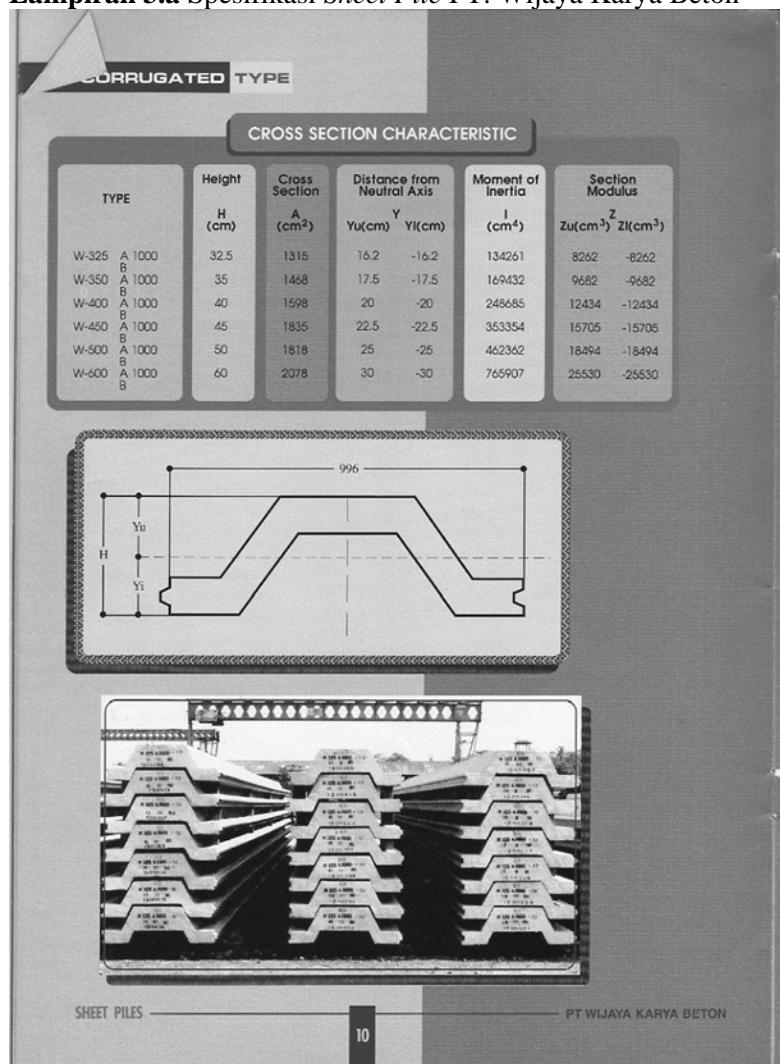
LAMPIRAN

2

HALAMAN

130

### Lampiran 3.a Spesifikasi Sheet Pile PT. Wijaya Karya Beton



## CRACKING MOMENT CAPACITY AND RANGE OF LENGTH

TYPE	Height mm	Thickness mm	Width mm	Cracking Moment H-m	Length (m)
					8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21
W-325 A 1000 B	325	110	996	11.4 13.3	
W-350 A 1000 B	350	120	996	15.6 17	
W-400 A 1000 B	400	120	996	20.1 23.4	
W-450 A 1000 B	450	120	996	26.9 30.7	
W-500 A 1000 B	500	120	996	35.2 40.4	
W-600 A 1000 B	600	120	996	50.6 59.6	



## WEIGHT

TYPE	Length (m)	Weight (t)
	8 9 10 11 12 13 14	2.63 2.96 3.29 3.62 3.94 4.28 4.60
W-325 A 1000 B	9 10 11 12 13 14	3.31 3.67 4.04 4.41 4.77 5.14
W-350 A 1000 B	10 11 12 13 14 15	4.00 4.40 4.80 5.20 5.60 6.00
W-400 A 1000 B	11 12 13 14 15 16	5.05 5.51 5.97 6.42 6.88 7.34
W-450 A 1000 B	12 13 14 15 16 17	5.46 5.91 6.36 6.82 7.27 7.73
W-500 A 1000 B	13 14 15 16 17 18	5.91 6.36 6.82 7.27 7.73 8.18
W-600 A 1000 B	14 15 16 17 18 19 20 21	7.35 7.87 8.39 8.91 9.44 9.97 10.49 10.92

### Lampiran 3.b Spesifikasi *Spun Pile* PT. Wijaya Karya Beton

#### PC SPUN PILES

Wika PC spun pile is produced by the process of spinning. The high level of concrete compactness as a result of centrifugal force causes Wika PC spun pile to have high durability and permeability to withstand certain environment condition.

PC spun pile is designed to bear various types of structures. It is used among others on high-rise buildings, industrial buildings, marine structures, bridges, etc.

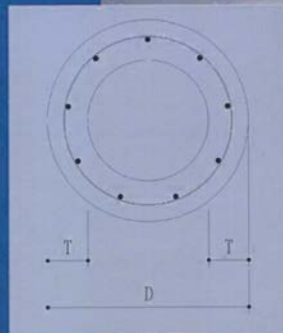
#### Description

Type of piles	: Prestressed Concrete Spun Piles
Splice system	: Welded at steel joint plate
Type of shoe	: Pencil (Standard Product) Mamira (Special Design)
Method of Driving	: Diesel or Hydraulic Hammer

#### Design and manufacturing references

Design	JIS A 5335 - 1987	Prestressed Spun Concrete Piles
	ACI 543R - 00	Design, Manufactured and Installation of Concrete Piles
	SNI 03-2847-2002	Indonesian Concrete Code
Manufacturing	JIS A 5335 - 1987	Prestressed Spun Concrete Piles
	WIKI BETON-09-01-005	Piles Manufacturing Work Instruction

#### Shape and Dimension



### Specification of Material

Item	Reference	Description	Specification
Aggregate	ASTM C33 - 1999 NI 2 PBT - 1971	Standard Specification for Concrete Aggregates Indonesian Concrete Code	
Cement	SNI 15-2049 - 2004	Portland Cement	Standard product type I Special order : type II or V
Admixture	ASTM C494 - 1985	Standard Specification for Chemical Admixture for Concrete	Type F : water reducing admixtures
Concrete	SNI 03-2847-2002	Indonesian Concrete Code	Compressive Strength at: 28 days : 600 kgf/cm <sup>2</sup> (cube)
PC Wire	JIS G 3536 - 1999	Uncoated Stress-Relieved Steel Wire and Strand for Prestressed Concrete	SWPD 1
PC Bar	JIS G 3137 - 1994	Small Size Deformed Steel Bars for Prestressed Concrete	SBPDL 1275/1420
Spiral Wire	JIS G 3532 - 2000	Low Carbon Steel Wire	SWMA / SWMP
Joint Plate	JIS G 3101 - 2004	Rolled Steel for General Structure	SS-400
Welding	ANSI / AWS D1.1 - 1990	Structural Welding Code-Steel	AWS A 5.1 / E 6013 NIKKO STEEL RB 26 / RD 260, LION 26, or equivalent

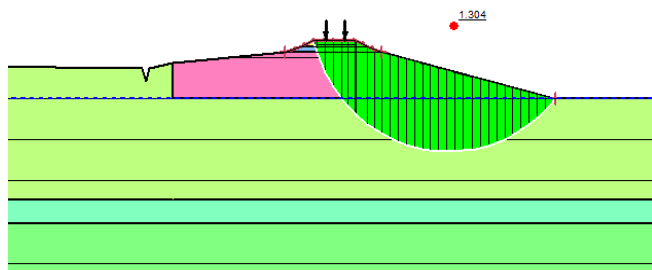
### Classification

Outside Diameter (mm)	Wall Thickness (mm)	Class	Concrete Cross Section (cm <sup>2</sup> )	Unit Weight (Kg/m)	Length (m)	Bending Crack (Ton.m)	Moment Ultimate (Ton.m)	Allowable Axial Load (Ton)
300	60	A2	452	113	6 - 13	2.50	3.75	72.60
		A3				3.00	4.50	70.75
		B C				3.50 4.00	6.30 8.00	67.50 65.40
350	65	A1	582	145	6 - 15	3.50	5.25	93.10
		A3				4.20	6.30	89.50
		B C				5.00 6.00	9.00 12.00	86.40 85.00
400	75	A2	766	191	6 - 16	5.50	8.25	121.10
		A3				6.50	9.75	117.60
		B C				7.50 9.00	13.50 18.00	114.40 111.50
450	80	A1	930	232	6 - 16	7.50	11.25	149.50
		A2				8.50	12.75	145.80
		A3 B C				10.00 11.00 12.50	15.00 19.80 25.00	143.80 139.10 134.90
500	90	A1	1159	290	6 - 16	10.50	15.75	185.30
		A2				12.50	18.75	181.70
		A3 B C				14.00 15.00 17.00	21.00 27.00 34.00	178.20 174.90 169.00
600	100	A1	1571	393	6 - 16	17.00	25.50	252.70
		A2				19.00	28.50	249.00
		A3 B C				22.00 25.00 29.00	33.00 45.00 58.00	243.20 238.30 229.50

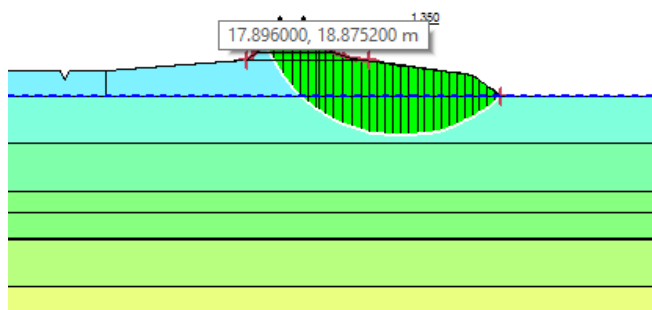


**Lampiran 4.a** Hasil Analisis Stabilitas Timbunan  
Sebelum Pembangunan Double Track

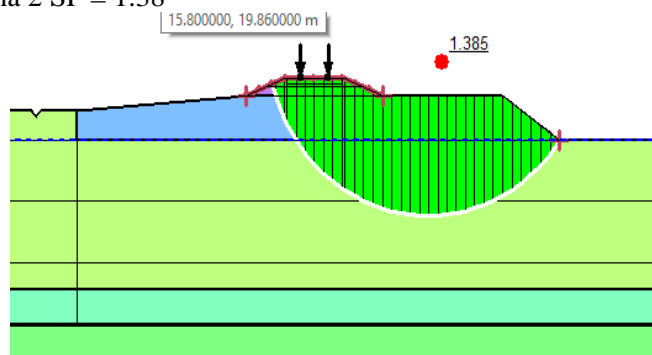
- Zona 1 SF = 1.304



- Zona 2 SF = 1.35

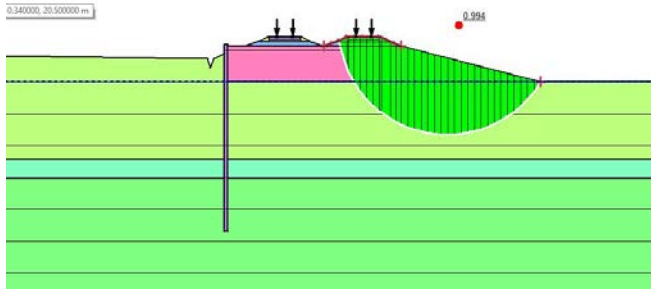


- Zona 2 SF = 1.38

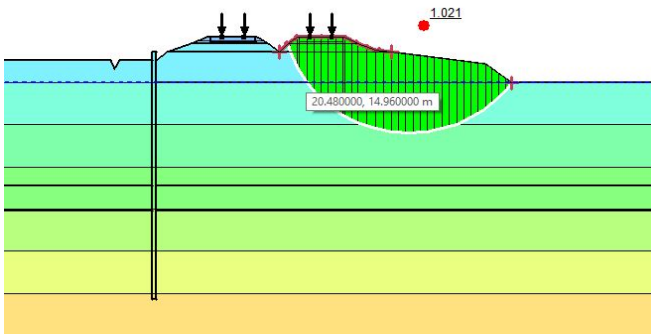


Setelah Pembangunan Double Track

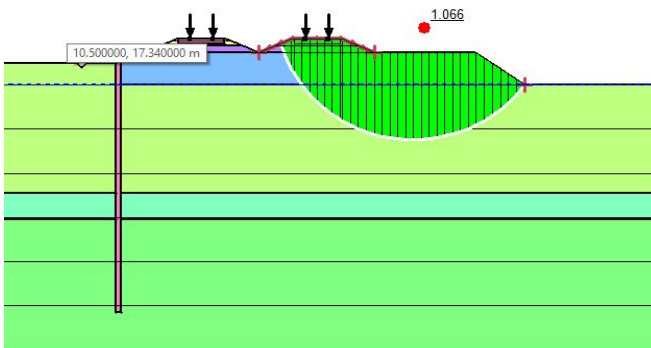
- Zona 1 SF = 0.99



- Zona 2 SF = 1.02



- Zona 3 SF = 1.06



## Lampiran 4.b Perhitungan Tegangan Horisontal Aktif dan Pasif Turap *Freestanding*

### - Zona 1

Lapisan	Kedalaman (m)		$\sigma_v$ Aktif (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_v$ Pasif (t/m <sup>2</sup> )	C' (ton/m <sup>2</sup> )	$\phi$	Ka	Kp	$\sigma_h$ Aktif (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_h$ Pasif (t/m <sup>2</sup> )
1	0	atas	2.51	0.00	0.67	15	0.59	0.00	0.45	0.00
	2	bawah	5.71	0.00	0.67	15	0.59	0.00	2.34	0.00
2	2	atas	5.71	0.00	1.30	0	1.00	1.00	3.11	2.60
	7	bawah	8.71	3.00	1.30	0	1.00	1.00	6.11	5.60
3	7	atas	8.71	3.00	2.50	0	1.00	1.00	3.71	8.00
	8.2	bawah	9.55	3.84	2.50	0	1.00	1.00	4.55	8.84
4	8.2	atas	9.55	3.84	3.50	0	1.00	1.00	2.55	10.84
	12	bawah	12.21	6.50	3.50	0	1.00	1.00	5.21	13.50
5	12	atas	12.21	6.50	3.50	0	1.00	1.00	5.21	13.50
	do	bawah	12.21 + 0.70 do	6.50 + 0.70 do	3.50	0	1.00	1.00	5.21 + 0.70 do	13.50 + 0.70 do

### - Zona 2

Lapisan	Kedalaman (m)		$\sigma_v$ Aktif (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_v$ Pasif (t/m <sup>2</sup> )	C' (ton/m <sup>2</sup> )	$\phi$	Ka	Kp	$\sigma_h$ Aktif (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_h$ Pasif (t/m <sup>2</sup> )
1	0	atas	2.51	0.00	0.67	15	0.59	0.00	0.45	0.00
	1.5	bawah	4.91	0.00	0.67	15	0.59	0.00	1.87	0.00
2	1.5	atas	4.91	0.00	1.30	0	1.00	1.00	2.31	2.60
	6.5	bawah	7.91	3.00	1.30	0	1.00	1.00	5.31	5.60
3	6.5	atas	7.91	3.00	2.50	0	1.00	1.00	2.91	8.00
	7.7	bawah	8.75	3.84	2.50	0	1.00	1.00	3.75	8.84
4	7.7	atas	8.75	3.84	3.50	0	1.00	1.00	1.75	10.84
	12	bawah	11.76	6.85	3.50	0	1.00	1.00	4.76	13.85
5	12	atas	11.76	6.85	3.50	0	1.00	1.00	4.76	13.85
	do	bawah	11.76 + 0.70 do	6.85 + 0.70 do	3.50	0	1.00	1.00	4.76 + 0.70 do	13.85 + 0.70 do

### - Zona 3

Lapisan	Kedalaman (m)		$\sigma_v$ Aktif (t/m2)	$\sigma_v$ Pasif (t/m2)	C' (ton/m2)	$\phi$	Ka	Kp	$\sigma_h$ Aktif (t/m2)	$\sigma_h$ Pasif (t/m2)
1	0	atas	2.51	0.00	0.67	15	0.59	0.00	0.45	0.00
	1.4	bawah	4.75	0.00	0.67	15	0.59	0.00	1.77	0.00
2	1.4	atas	4.75	0.00	1.30	0	1.00	1.00	2.15	2.60
	6.4	bawah	7.75	3.00	1.30	0	1.00	1.00	5.15	5.60
3	6.4	atas	7.75	3.00	2.50	0	1.00	1.00	2.75	8.00
	7.6	bawah	8.59	3.84	2.50	0	1.00	1.00	3.59	8.84
4	7.6	atas	8.59	3.84	3.50	0	1.00	1.00	1.59	10.84
	12	bawah	11.67	6.92	3.50	0	1.00	1.00	4.67	13.92
5	12	atas	11.67	6.92	3.50	0	1.00	1.00	4.67	13.92
	do	bawah	11.67 + 0.70 do	6.92 + 0.70 do	3.50	0	1.00	1.00	4.67 + 0.70 do	13.92 + 0.70 do

### Lampiran 4.c Perhitungan Tegangan Horisontal Aktif dan Pasif Turap Berangker

#### - Zona 1

Lapisan	Kedalaman (m)		$\sigma_v$ Aktif (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_v$ Pasif (t/m <sup>2</sup> )	(ton/m <sup>3</sup> )	$\phi$	$K_a$	$K_p$	$\sigma_h$ Aktif (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_h$ Pasif (t/m <sup>2</sup> )
1	0	atas	2.51	0.00	0.67	15	0.59	0.00	0.45	0.00
	2	bawah	5.71	0.00	0.67	15	0.59	0.00	2.34	0.00
2	2	atas	5.71	0.00	1.30	0	1.00	1.00	3.11	2.60
	6	bawah	8.11	2.40	1.30	0	1.00	1.00	5.51	5.00
3	6	atas	8.11	2.40	2.50	0	1.00	1.00	3.11	7.40
	do	bawah	8.11 + 0.70 do	2.40 + 0.70 do	2.50	0	1.00	1.00	3.11 + 0.70 do	7.40 + 0.70 do

#### - Zona 2

Lapisan	Kedalaman (m)		$\sigma_v$ Aktif (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_v$ Pasif (t/m <sup>2</sup> )	$C'$ (ton/m <sup>2</sup> )	$\phi$	$K_a$	$K_p$	$\sigma_h$ Aktif (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_h$ Pasif (t/m <sup>2</sup> )
1	0	atas	2.51	0.00	0.67	15	0.59	0.00	0.45	0.00
	1.5	bawah	4.91	0.00	0.67	15	0.59	0.00	1.87	0.00
2	1.5	atas	4.91	0.00	1.30	0	1.00	1.00	2.31	2.60
	6	bawah	7.61	2.70	1.30	0	1.00	1.00	5.01	5.30
3	6	atas	7.61	2.70	2.50	0	1.00	1.00	2.61	7.70
	do	bawah	7.61 + 0.70 do	2.70 + 0.70 do	2.50	0	1.00	1.00	2.61 + 0.70 do	7.70 + 0.70 do

#### - Zona 3

Kedalaman (m)		$\sigma_v$ Aktif (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_v$ Pasif (t/m <sup>2</sup> )	$C'$ (ton/m <sup>2</sup> )	$\phi$	$K_a$	$K_p$	$\sigma_h$ Aktif (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_h$ Pasif (t/m <sup>2</sup> )
0	atas	2.51	0.00	0.67	15	0.59	0.00	0.45	0.00
1.4	bawah	4.75	0.00	0.67	15	0.59	0.00	1.77	0.00
1.4	atas	4.75	0.00	1.30	0	1.00	1.00	2.15	2.60
6	bawah	7.51	2.76	1.30	0	1.00	1.00	4.91	5.36
6	atas	7.51	2.76	2.50	0	1.00	1.00	2.51	7.76
do	bawah	7.51 + 0.70 do	2.76 + 0.70 do	2.50	0	1.00	1.00	2.51 + 0.70 do	7.76 + 0.70 do

## Lampiran 4.d Perhitungan Jumlah Turap *Freestanding* yang akan Dipasang

### - Zona 1

Persamaan Momen ( $M_x$ ) ( $x = do$ )	Turunan Persamaan Momen ( $dy.M_x/dx$ ) ( $x = do$ )				x1 (m)	x2 (m)	Mmax (t.m)	Mmax kg.cm)	$\sigma$ ijin (kg/cm <sup>2</sup> )	Section Modulus (cm <sup>3</sup> /m')	Section Modulus Sheetpile (cm <sup>3</sup> /m')	Jumlah Turap
0.00 do^3 + -4.15 do^2 + -25.53 do + 36.02 = 0.00	0.00 do^2 + -8.29 do + -25.53 = 0.00	-3.08	-3.08	75.34	7533757.089	1500	5022.5047	18494				

### - Zona 2

Persamaan Momen (Mx) (x = do)					Turunan Persamaan Momen (dy.Mx/dx) (x = do)					x1 (m)	x2 (m)	Mmax (t.m)	Mmax kg.cm)	σ ijin (kg/cm <sup>2</sup> )	Section Modulus (cm <sup>3</sup> /m')	Section Modulus Sheetpile (cm <sup>3</sup> /m')	Jumlah Turap
0.00 do <sup>3</sup> +	-4.55 do <sup>2</sup> +	-39.13 do +	-36.93 =	0.00	0.00 do <sup>2</sup> +	-9.09 do +	-39.13 =	0.00	-4.30	-4.30	47.28	4727950.262	1500	3151.9668		18494	

### - Zona 3

Persamaan Momen ( $M_x$ ) ( $x = do$ )	Turunan Persamaan Momen ( $dy.M_x/dx$ ) ( $x = do$ )				x1 (m)	x2 (m)	Mmax (t.m)	Mmax kg.cm)	$\sigma$ ijin (kg/cm <sup>2</sup> )	Section Modulus (cm <sup>3</sup> /m')	Section Modulus Sheetpile (cm <sup>3</sup> /m')	Jumlah Turap
$0.00 do^3 + -4.63 do^2 + -41.92 do + -52.55 =$	$0.00 do^2 + -9.25 do + -41.92 =$	$0.00$	$-4.53$	$-4.53$	42.41	4241263.697	1500	2827.5091	18494	1		

## Lampiran 4.e Perhitungan Jumlah Turap Angker yang akan Dipasang

### - Zona 1

Persamaan Momen ( $M_x$ ) ( $x = do$ )	Turunan Persamaan Momen ( $dy.M_x/dx$ ) ( $x = do$ )				x1 (m)	x2 (m)	Mmax (t.m)	Mmax kg.cm)	$\sigma$ ijin (kg/cm2)	Section Modulus (cm3/m')	Section Modulus Sheetpile (cm3/m')	Jumlah Turap
0.00 do^3 + -2.15 do^2 + -15.68 do + 27.85 =	0.00 do^2 + -4.29 do + -15.68 =	0.00	-3.65	-3.65	56.49	5648506.265	1500	3765.6708	8262	1		

### - Zona 2

Persamaan Momen (Mx) (x = do)	Turunan Persamaan Momen (dy.Mx/dx) (x = do)				x1 (m)	x2 (m)	Mmax (t.m)	Mmax kg.cm)	σ ijin (kg/cm2)	Section Modulus (cm3/m')	Section Modulus Sheetpile (cm3/m')	Jumlah Turap
0.00 do^3 + -2.55 do^2 + -19.68 do + 17.34 =	0.00	0.00 do^2 + -5.09 do + -19.68 =	0.00	-3.87	-3.87	55.37	5536680.707	1500	3691.1205	8262	1	

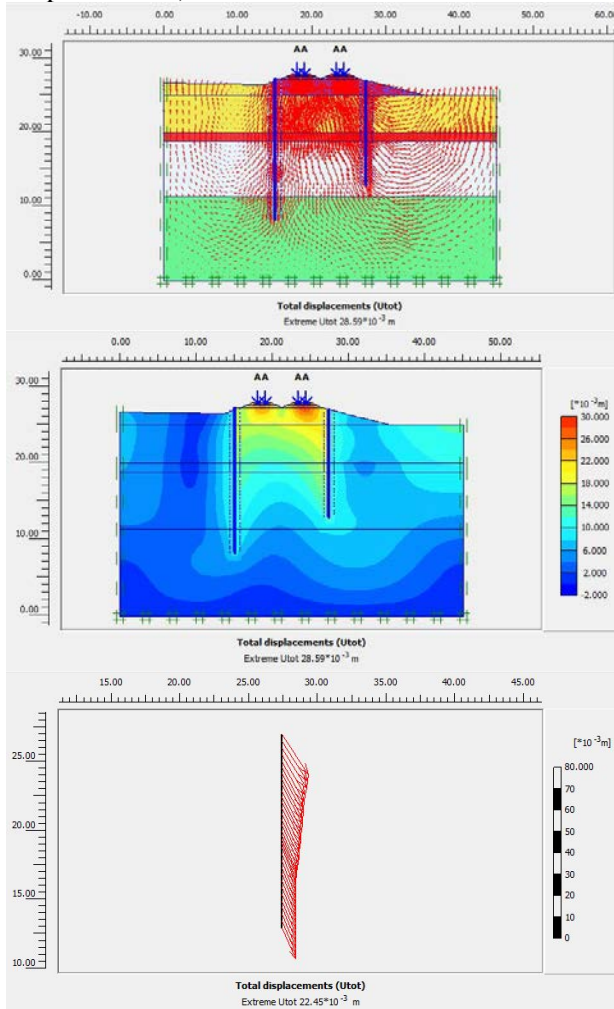
### - Zona 3

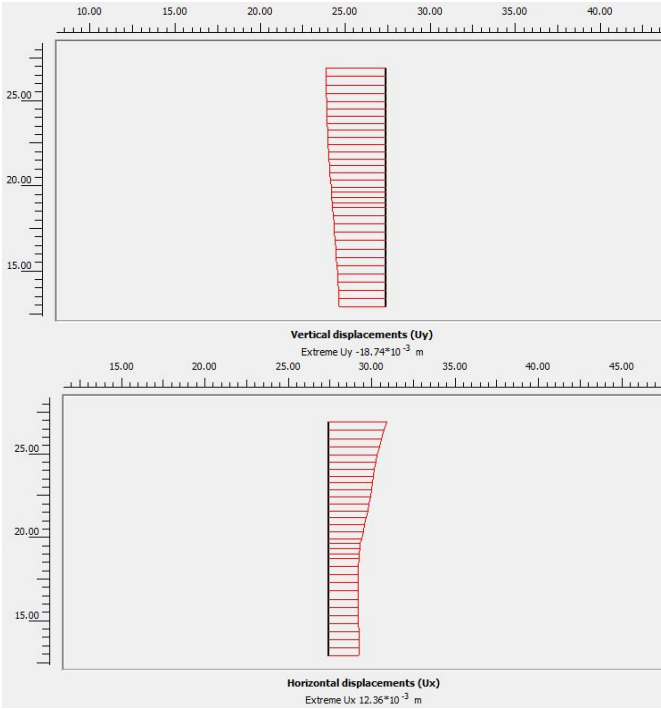
Persamaan Momen (Mx) (x = do)	Turunan Persamaan Momen (dy.Mx/dx) (x = do)				x1 (m)	x2 (m)	Mmax (t.m)	Mmax kg.cm)	σ ijin (kg/cm2)	Section Modulus (cm³/m')	Section Modulus Sheetpile (cm³/m')	Jumlah Turap
0.00 do³ + -2.63 do² + -20.48 do + 15.28 = 0.00	0.00 do² + -5.25 do + -20.48 =	0.00	-3.90	-3.90	55.18	5518470.17	1500	3678.9801	8262	1		

# **Lampiran 4.f** Hasil Analisis Turap *Freestanding* dengan Program Bantu *Plaxis*

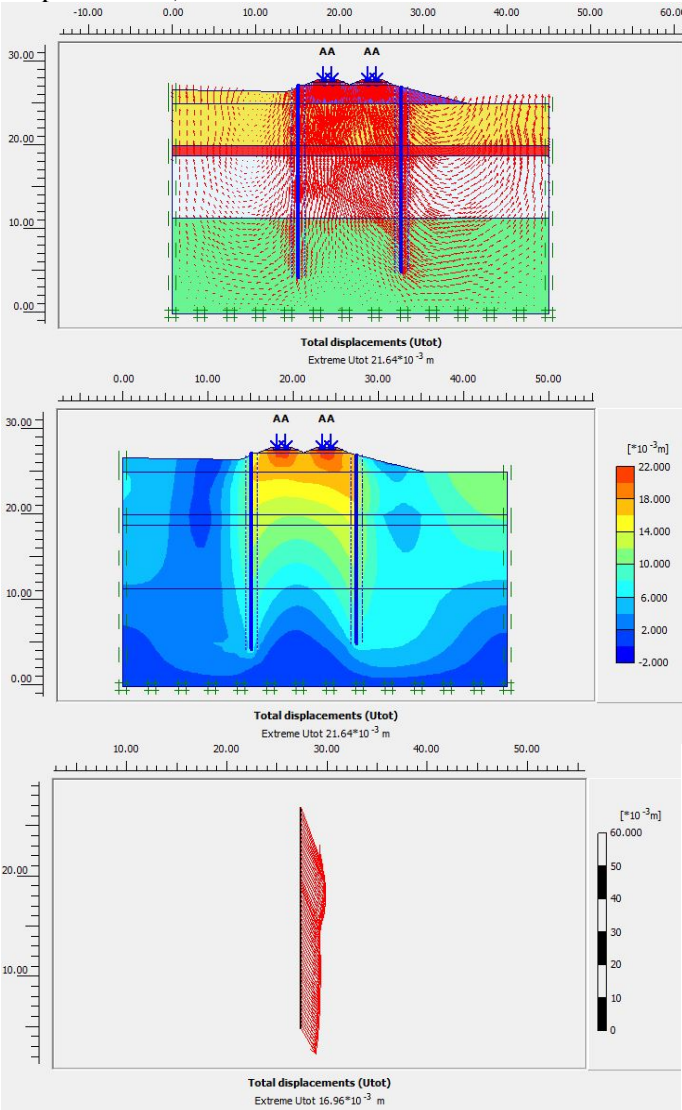
-Zona 1

Panjang Turap 14 m Profil W500 A1000 (Arrow, Shading, Displacements)

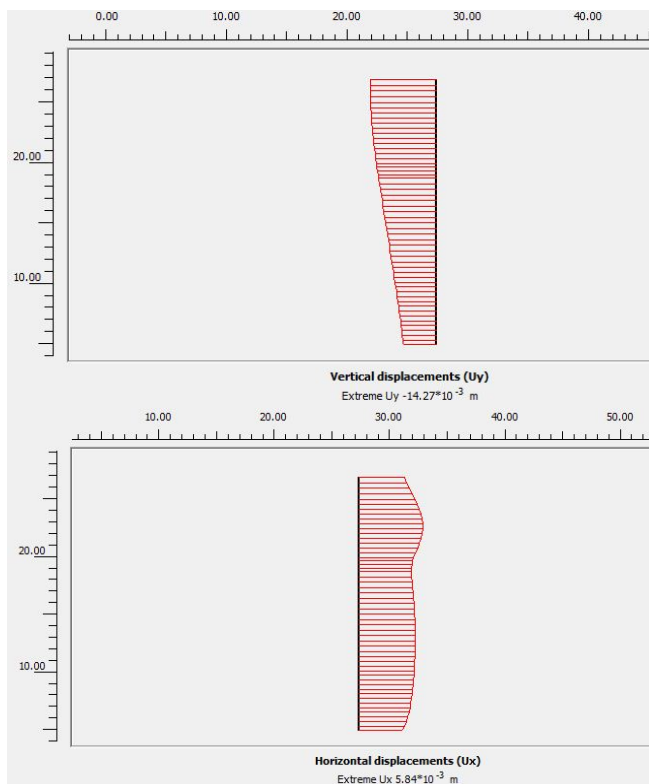




Panjang Turap 21 m Profil W600 A1000 (Arrow, Shading, Displacements)

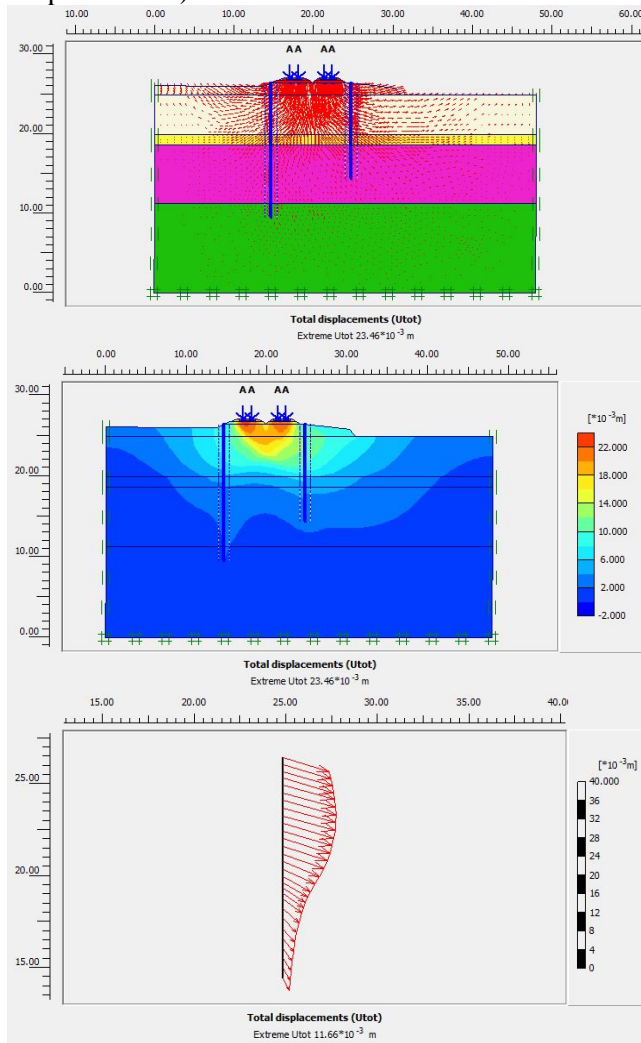


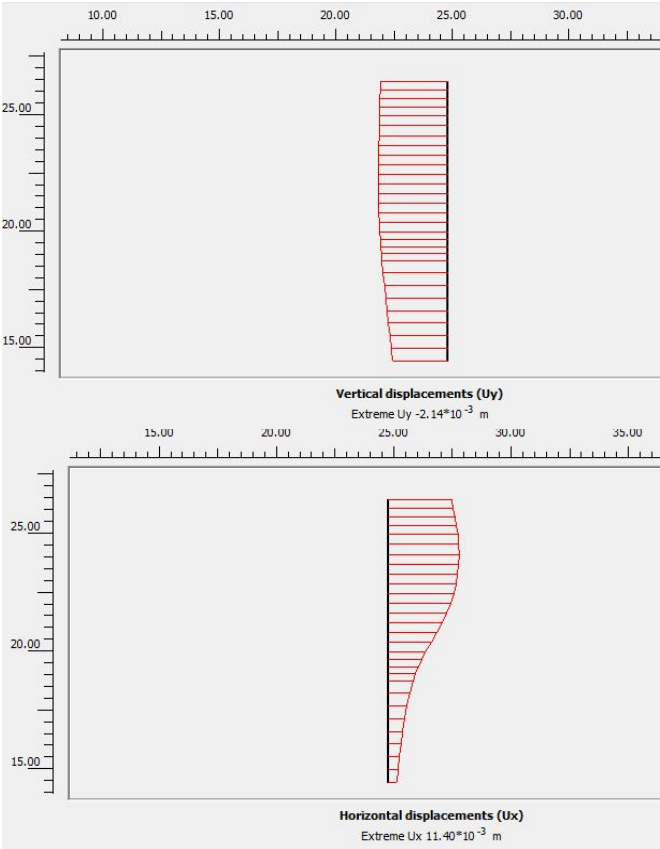




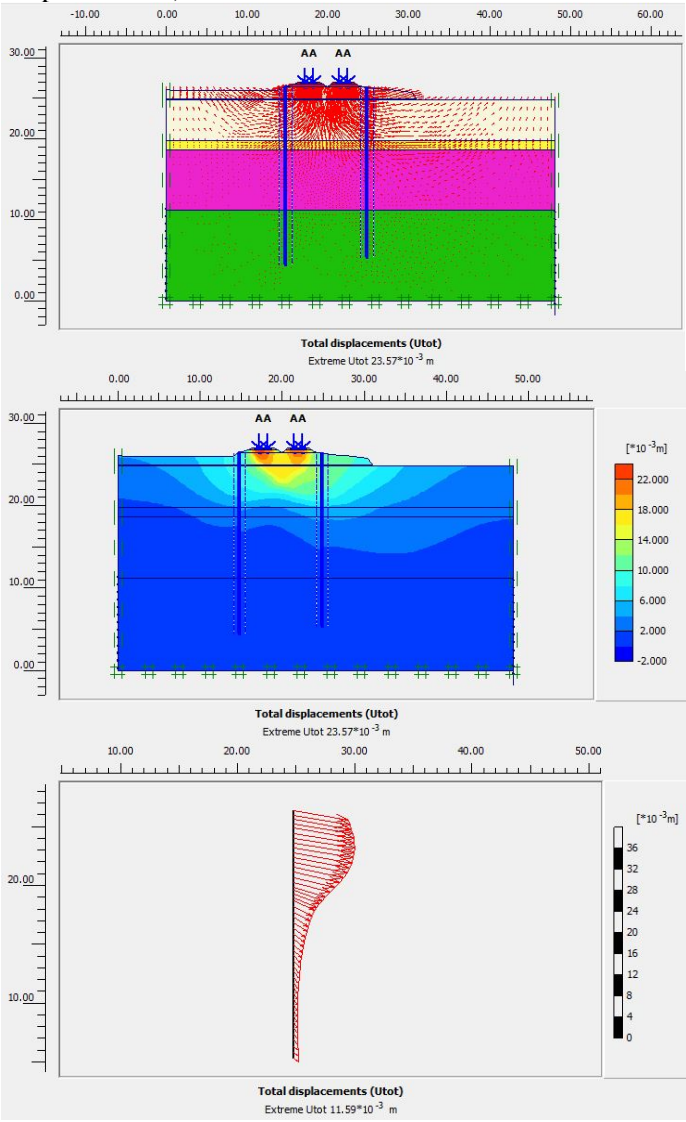
## -Zona 2

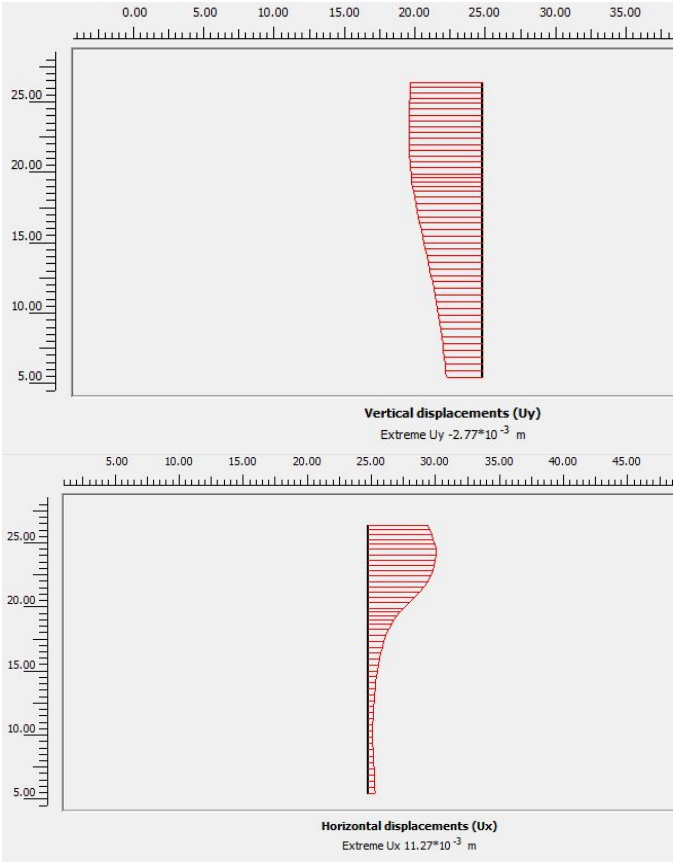
Panjang Turap 12 m Profil W500 A1000 (Arrow, Shading, Displacements)





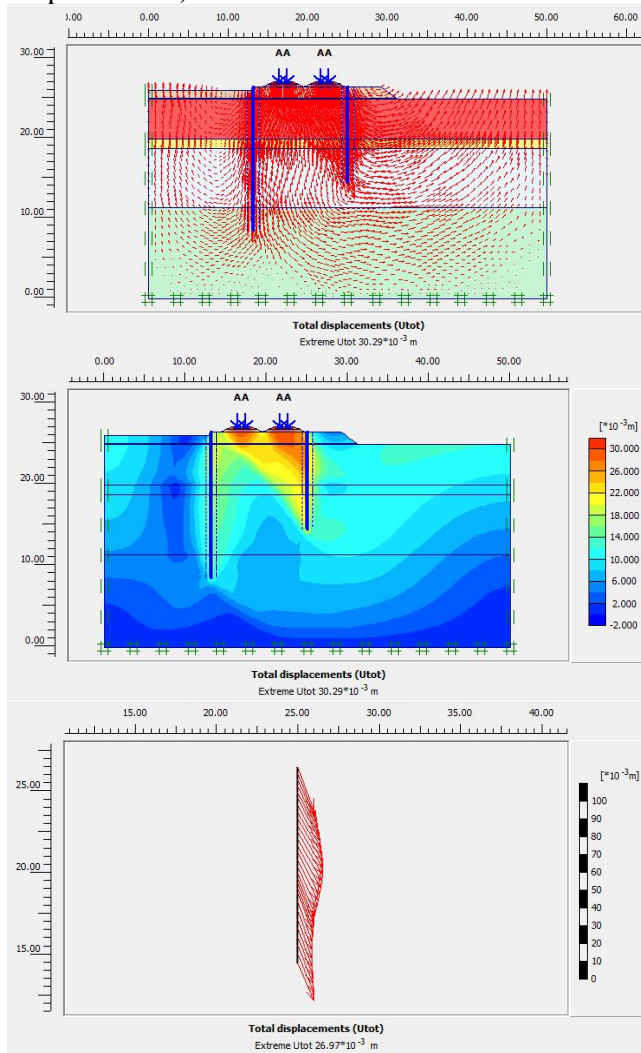
Panjang Turap 21 m Profil W600 A1000 (Arrow, Shading, Displacements)

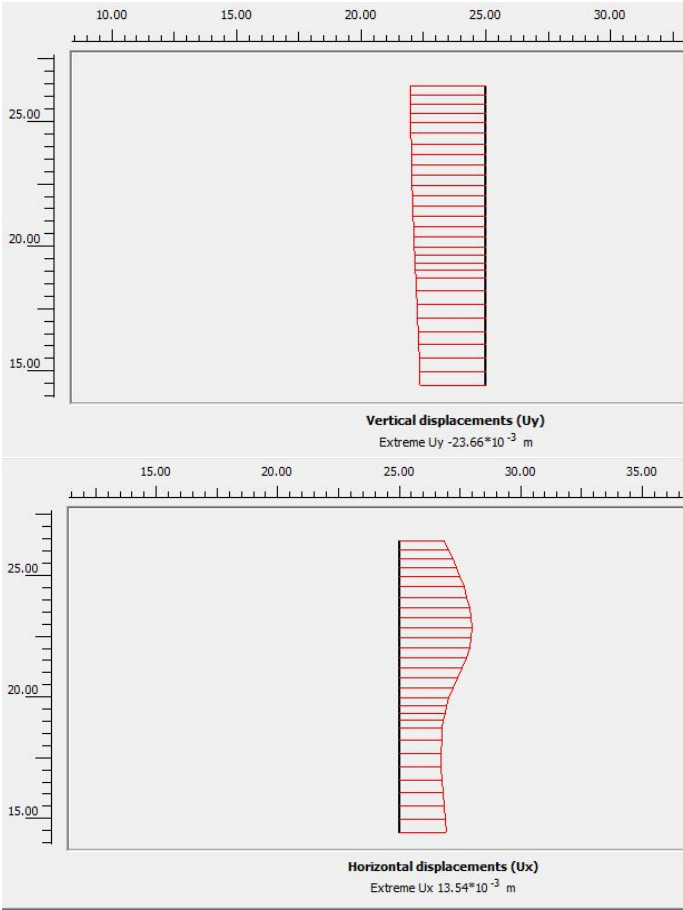




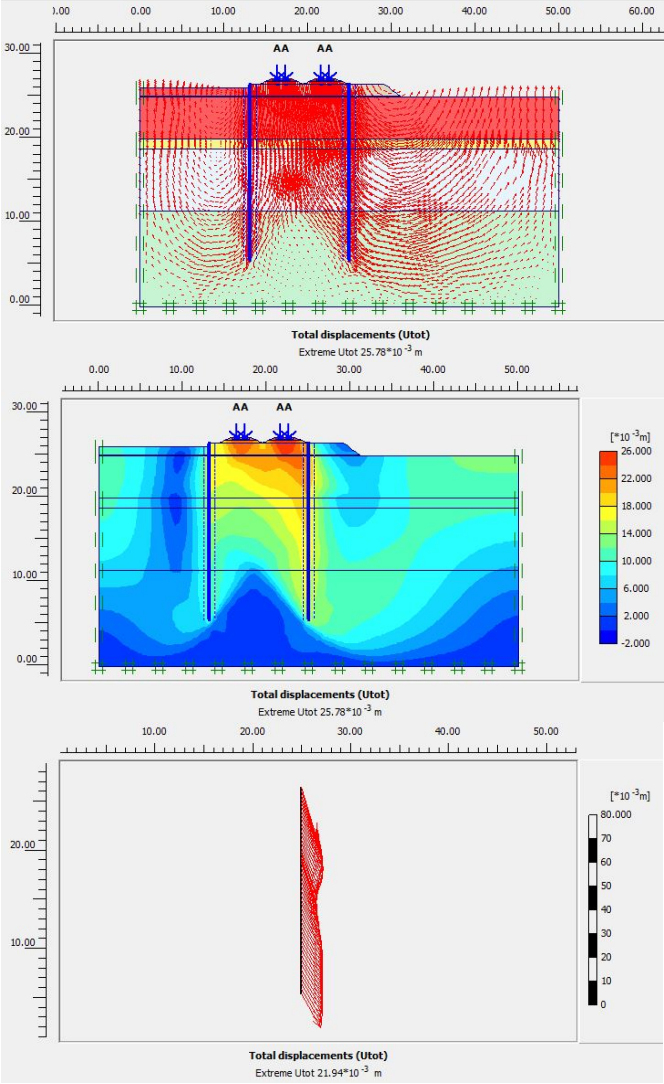
## -Zona 3

Panjang Turap 12 m Profil W500 A1000 (Arrow, Shading, Displacements)

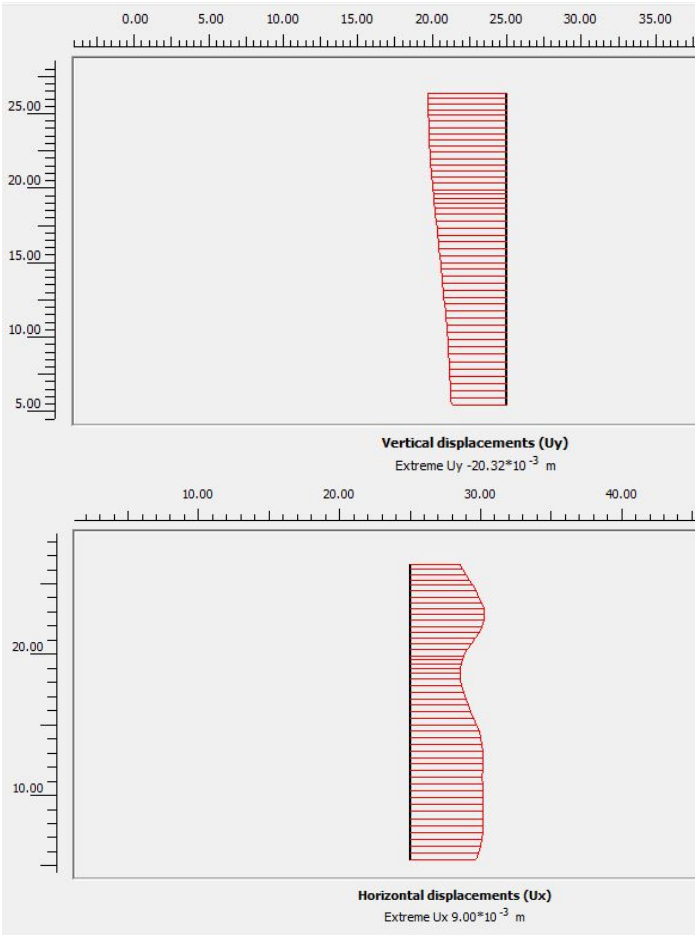




Panjang Turap 21 m Profil W600 A1000 (Arrow, Shading, Displacements)



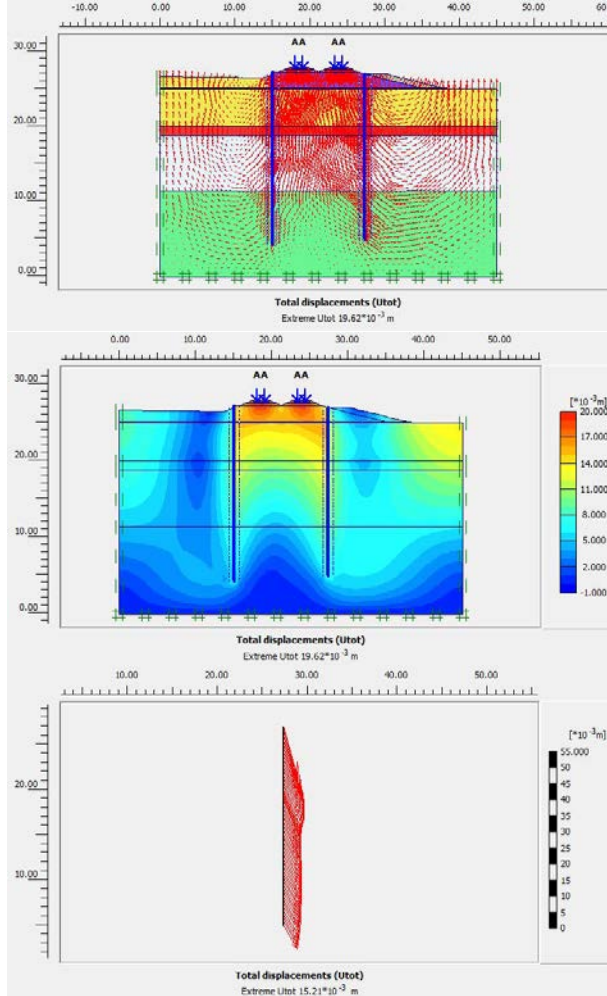


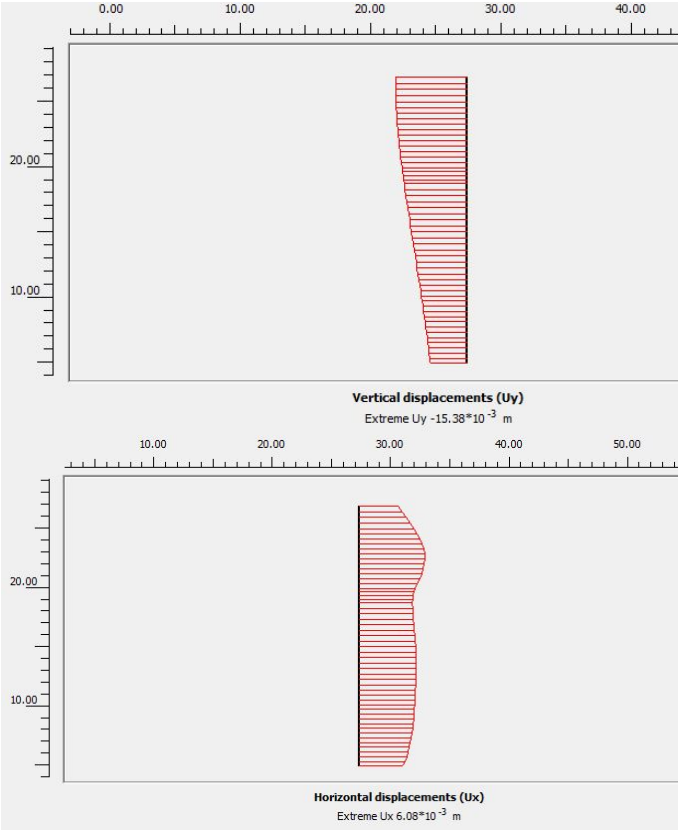


# **Lampiran 4.g** Hasil Analisis Turap *Freestanding* dikombinasikan dengan *Counterweight* dengan Program Bantu *Plaxis*

-Zona 1

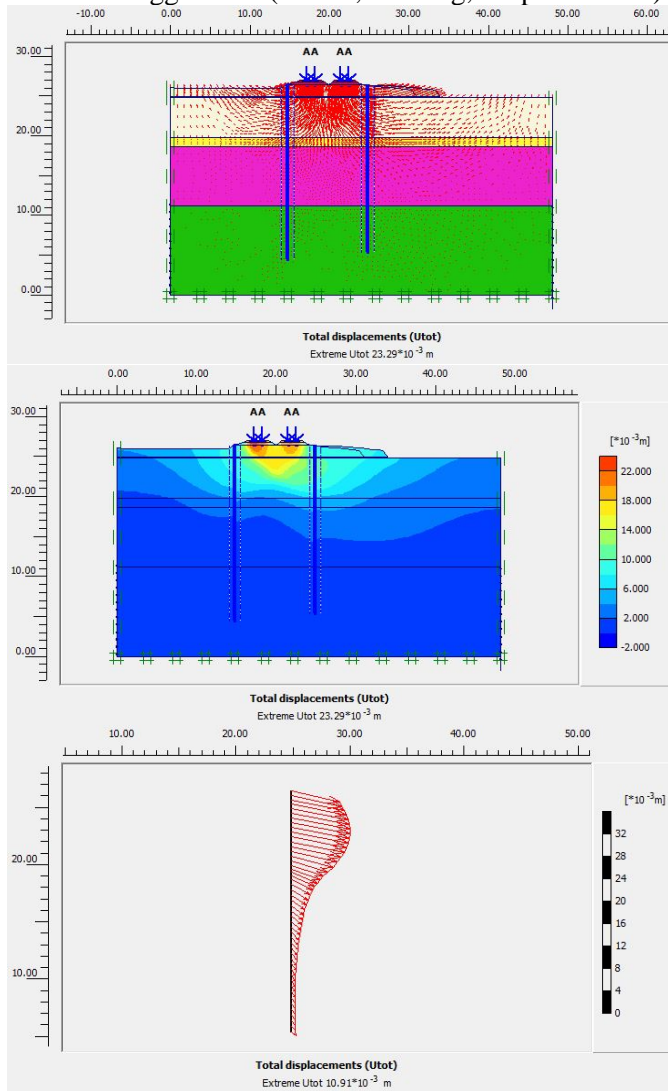
Panjang Turap 21 m Profil W600 A1000 dengan Timbunan Lebar 3 m dan Tinggi 1.9 m (Arrow, Shading, Displacements)

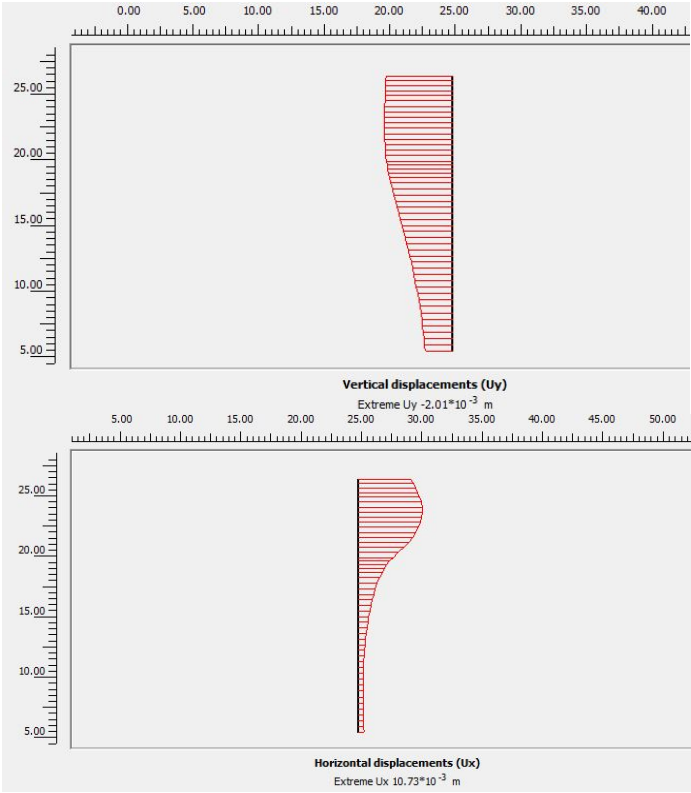




## -Zona 2

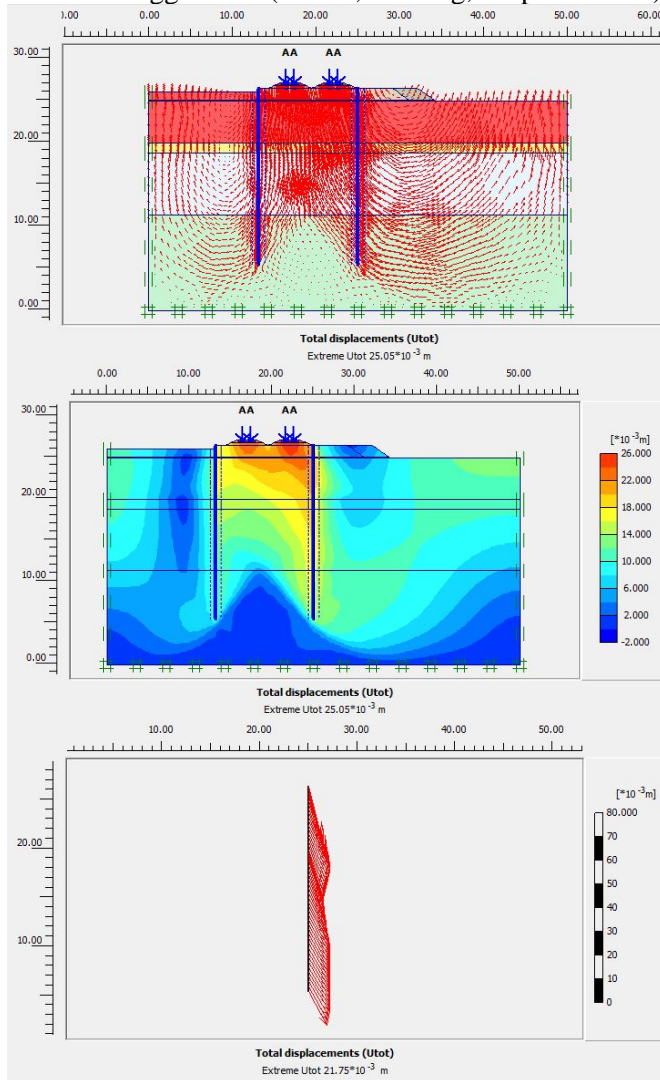
Panjang Turap 21 m Profil W600 A1000 dengan Timbunan Lebar 3 m dan Tinggi 1.4 m (Arrow, Shading, Displacements)

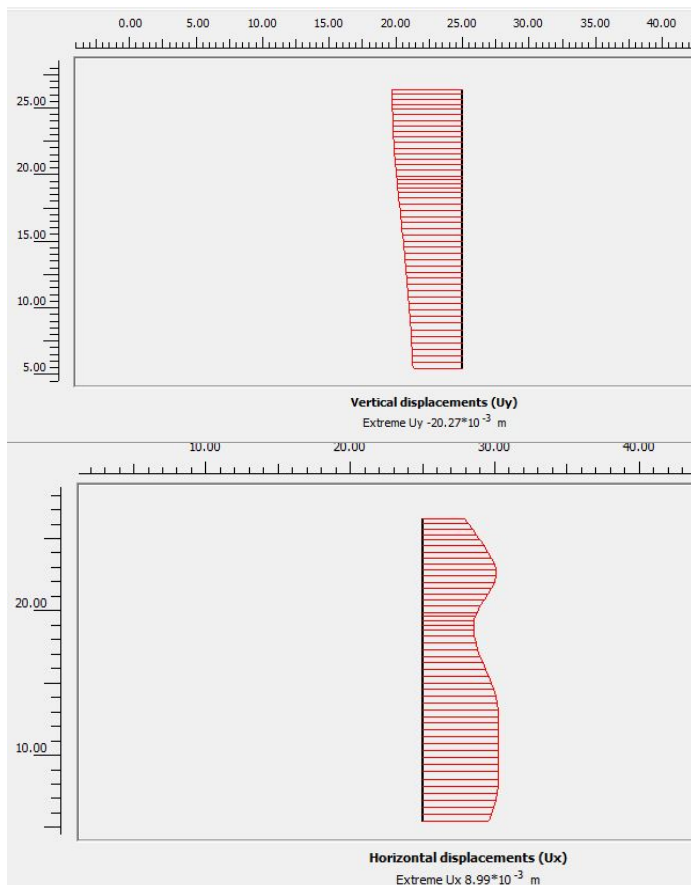




## -Zona 3

Panjang Turap 21 m Profil W600 A1000 dengan Timbunan Lebar 3 m dan Tinggi 1.3 m (Arrow, Shading, Displacements)

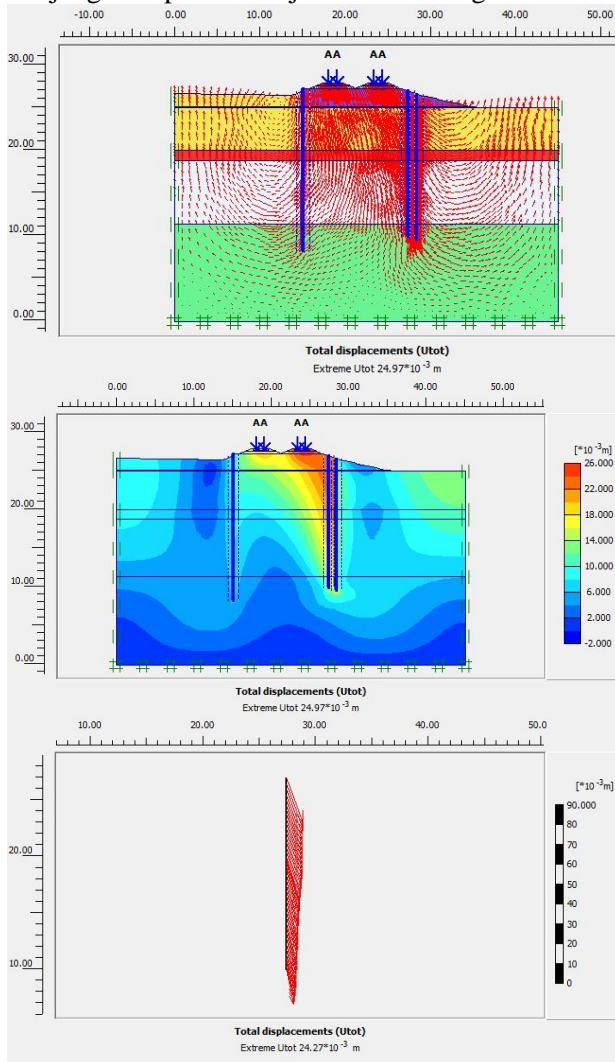




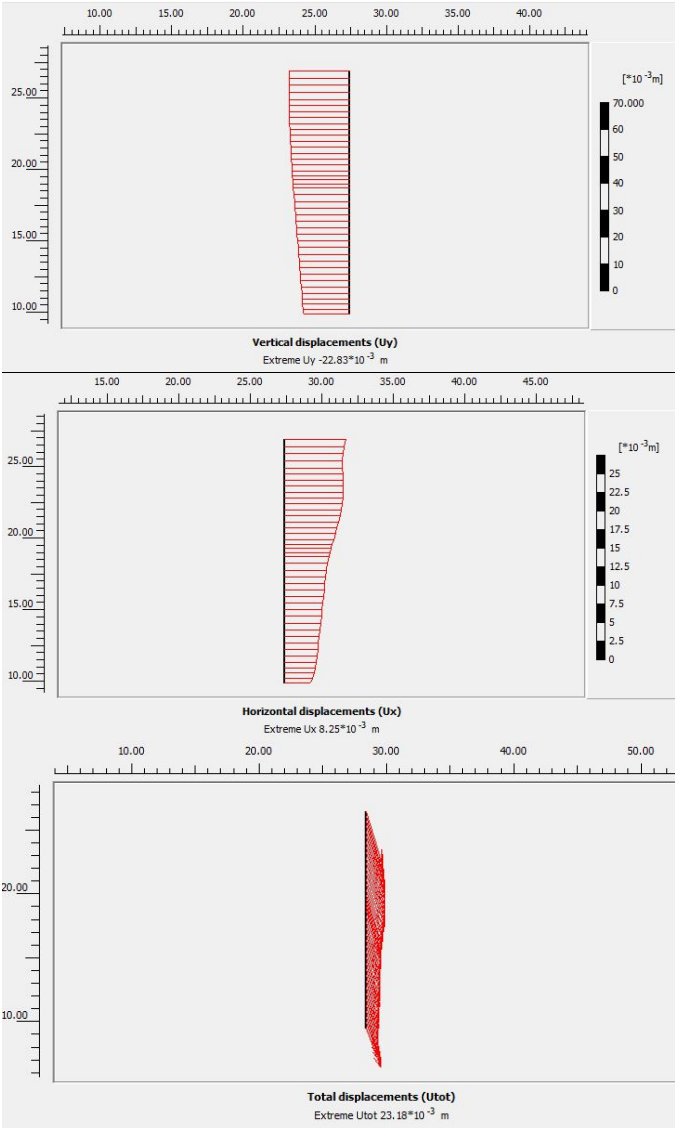
# **Lampiran 4.h** Hasil Analisis Turap *Freestanding* dirangkap dua dengan Program Bantu *Plaxis*

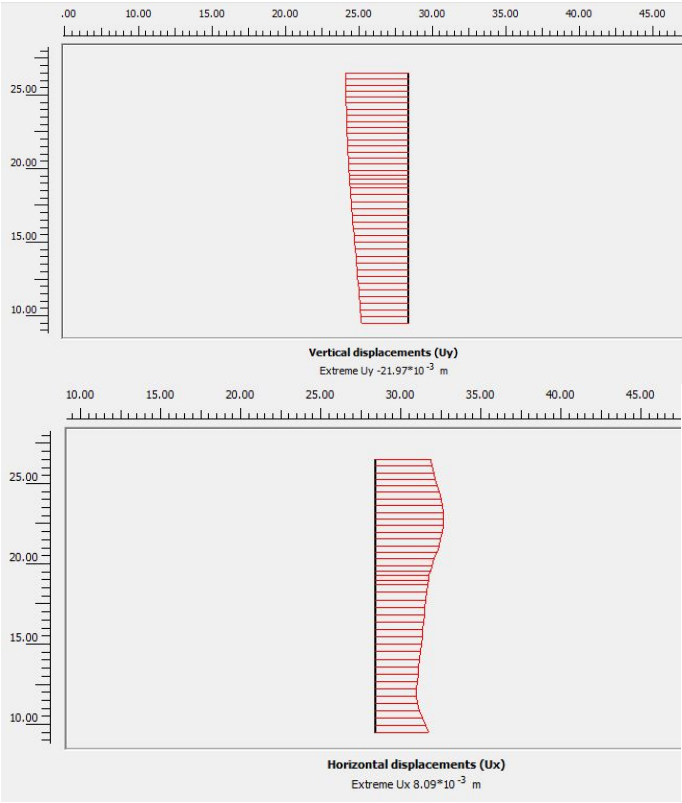
-Zona 1

Panjang Turap 15 m berjumlah dua dengan Profil W500 A1000



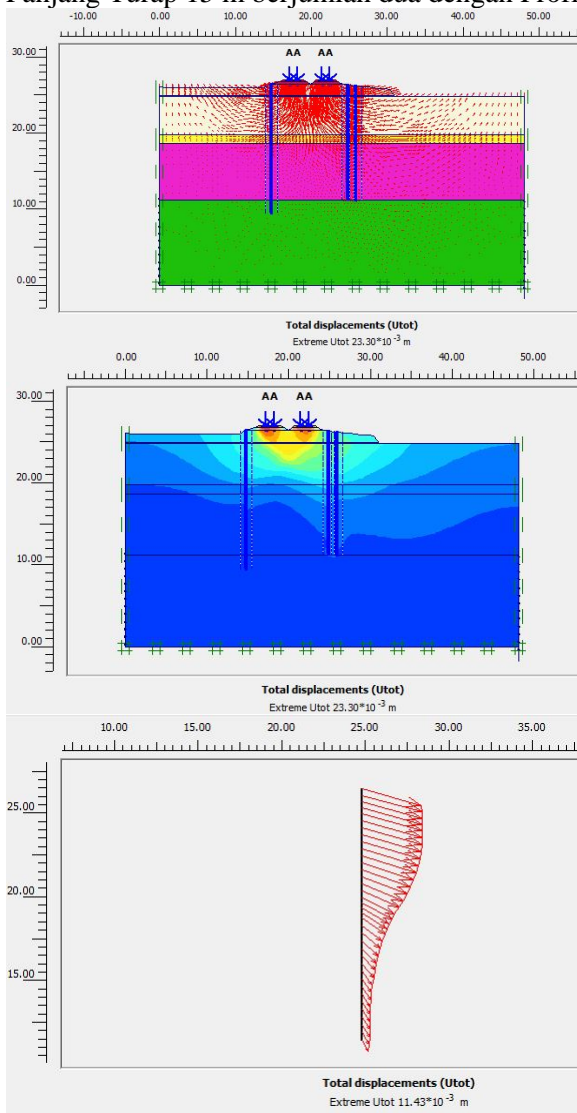


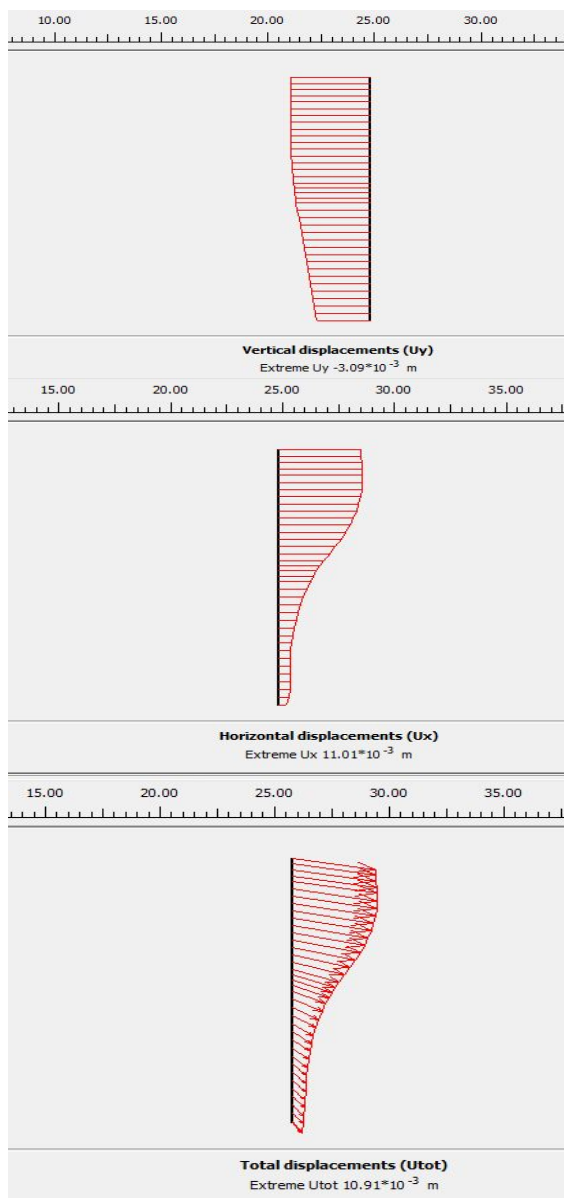


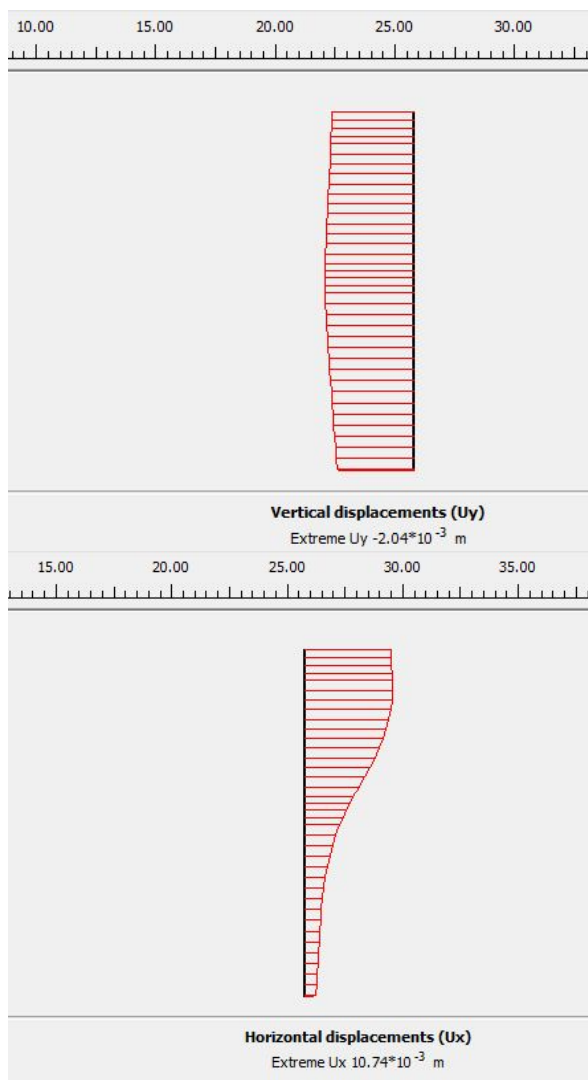


-Zona 2

Panjang Turap 15 m berjumlah dua dengan Profil W500 A1000

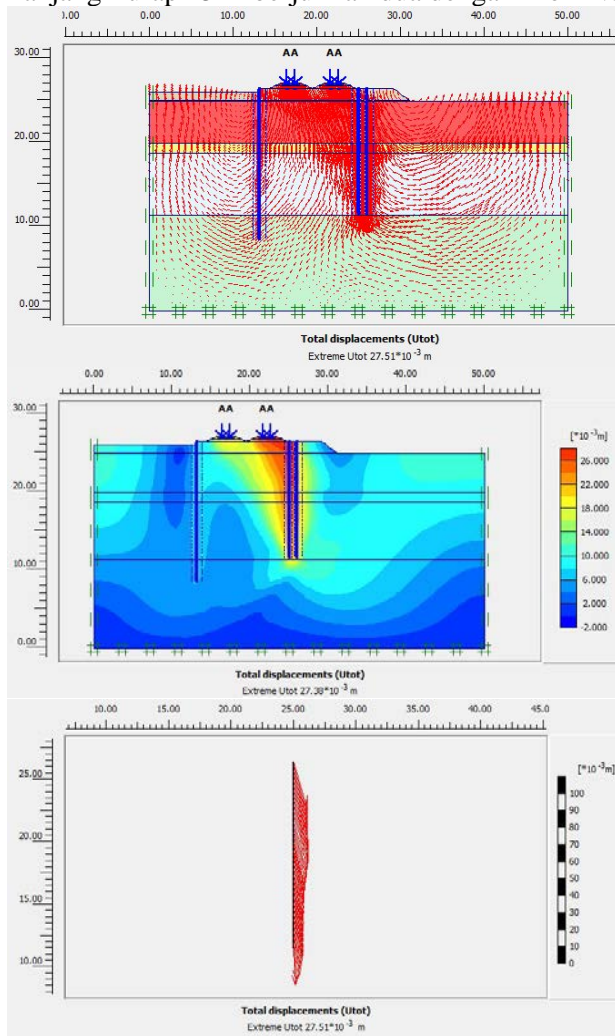


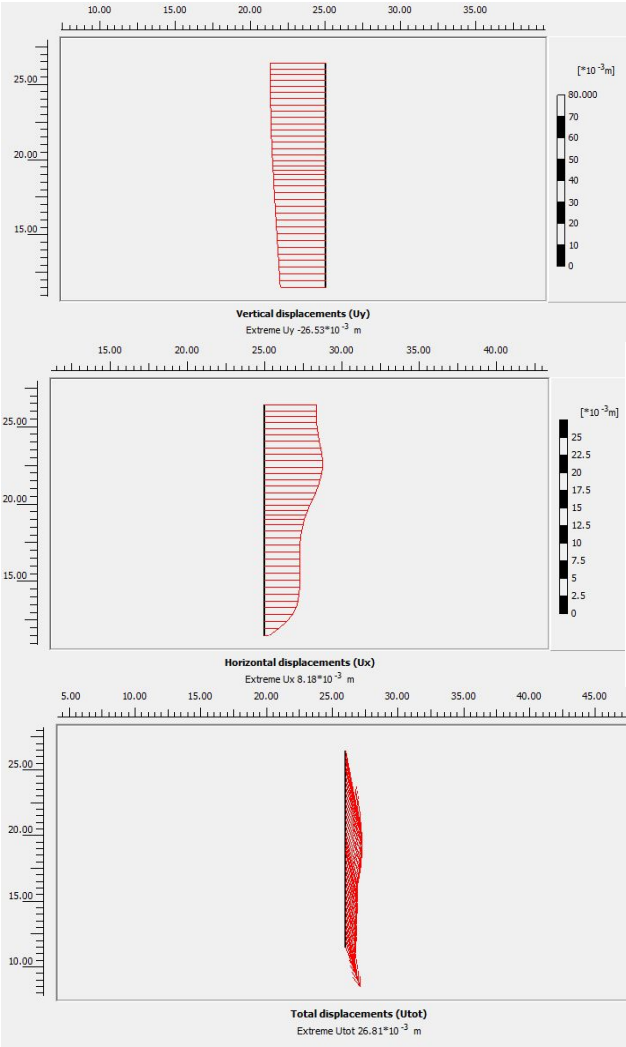


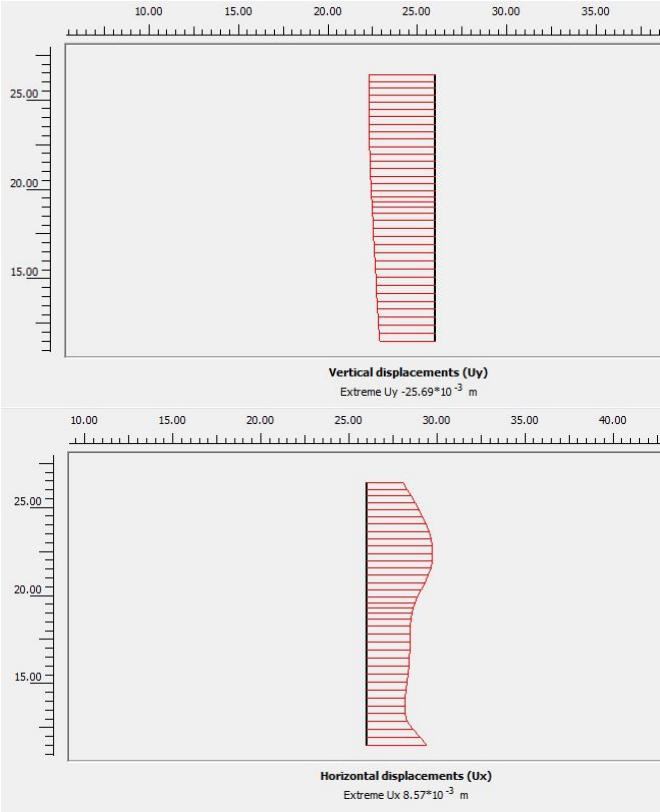


## -Zona 3

Panjang Turap 15 m berjumlah dua dengan Profil W500 A1000





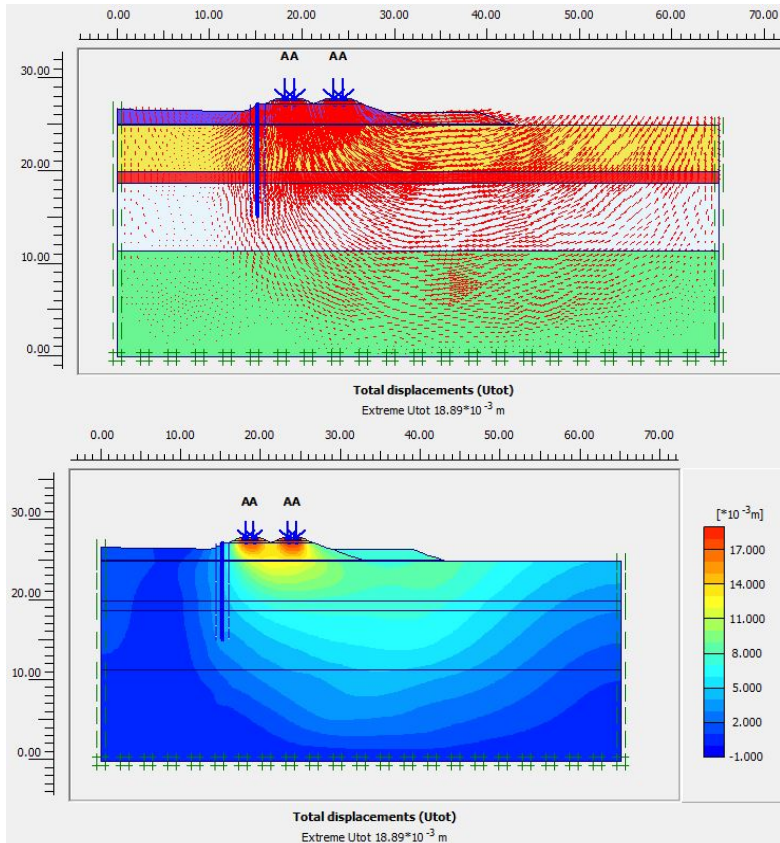




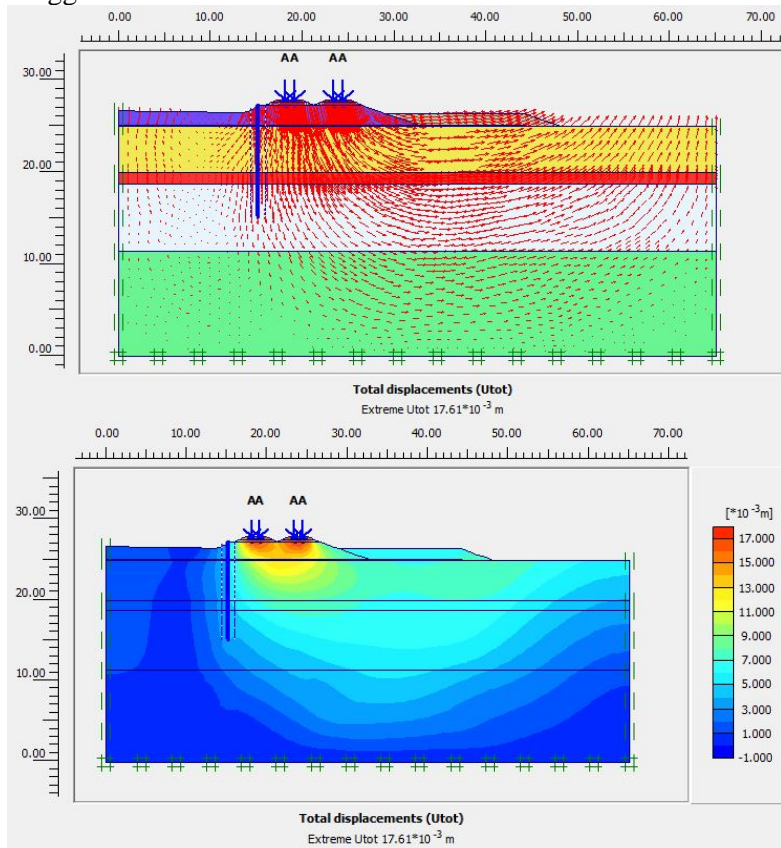
#### Lampiran 4.i Hasil Analisis *Counterweight*

-Zona 1 (3 variasi lebar timbunan 10 m, 15.2 m, 20 m)

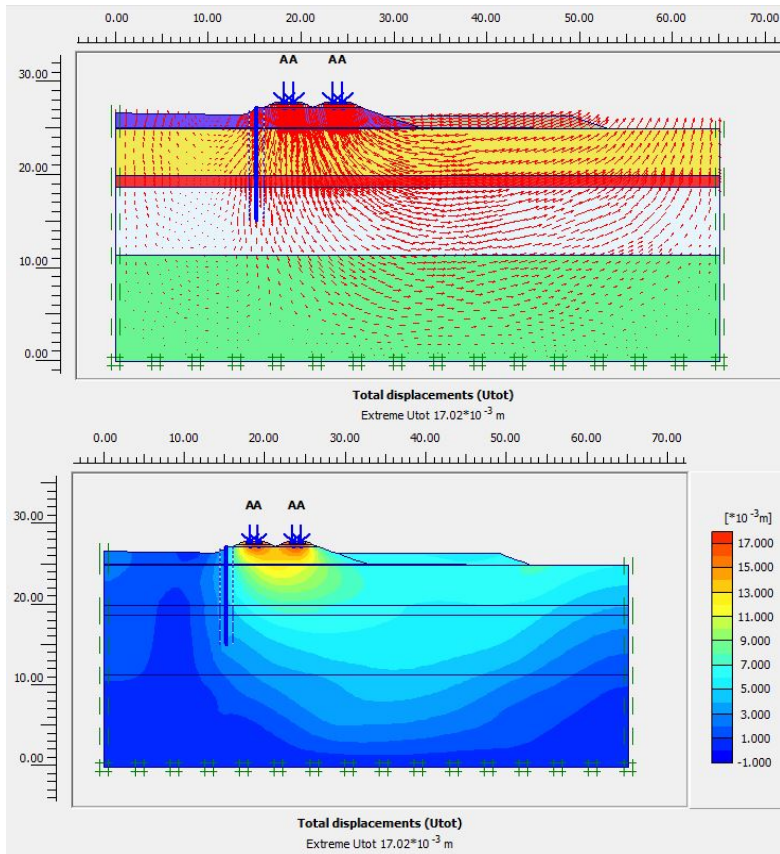
1. Percobaan 1 Lebar Timbunan 10 m, Panjang 200 m, dan Tinggi 1 m



2. Percobaan 2 Lebar Timbunan 15.2 m, Panjang 200 m, dan Tinggi 1 m

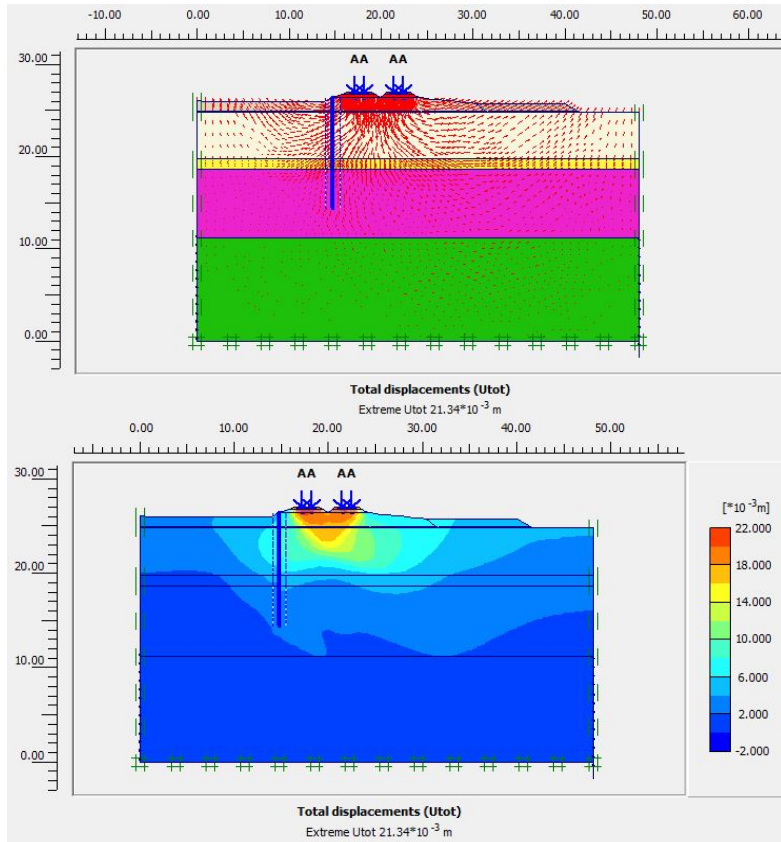


### 3. Percobaan 3 Lebar Timbunan 20 m, Panjang 200 m, dan Tinggi 1 m

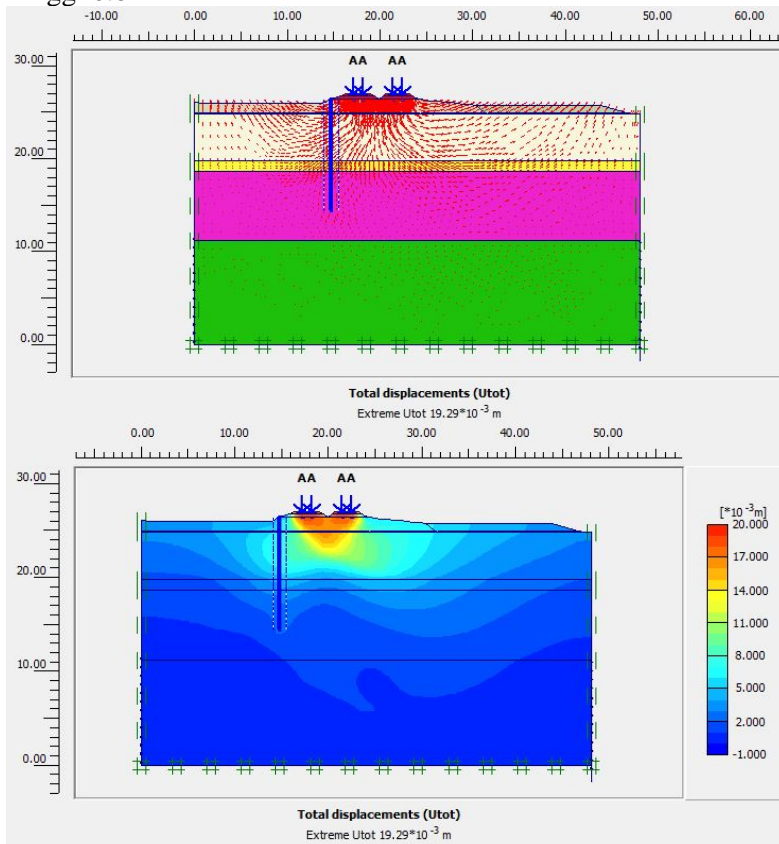


-Zona 2 (3 variasi lebar timbunan 10 m, 13.5 m, 20 m)

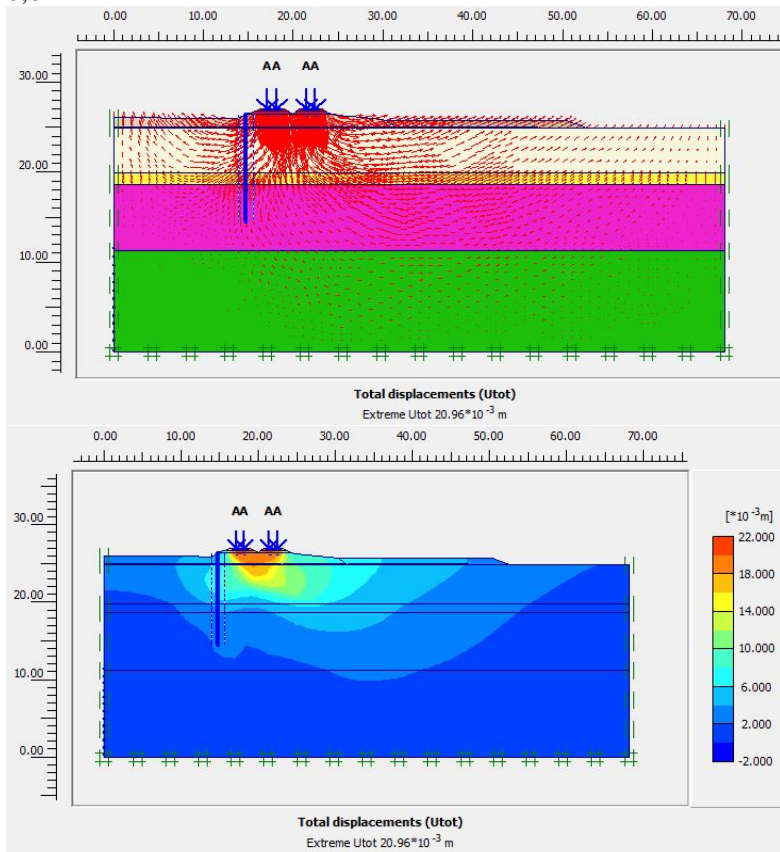
1. Percobaan 1 Lebar Timbunan 10 m, Panjang 200 m, dan Tinggi 0.8 m



2. Percobaan 2 Lebar Timbunan 13.5 m, Panjang 200 m, dan Tinggi 0.8 m



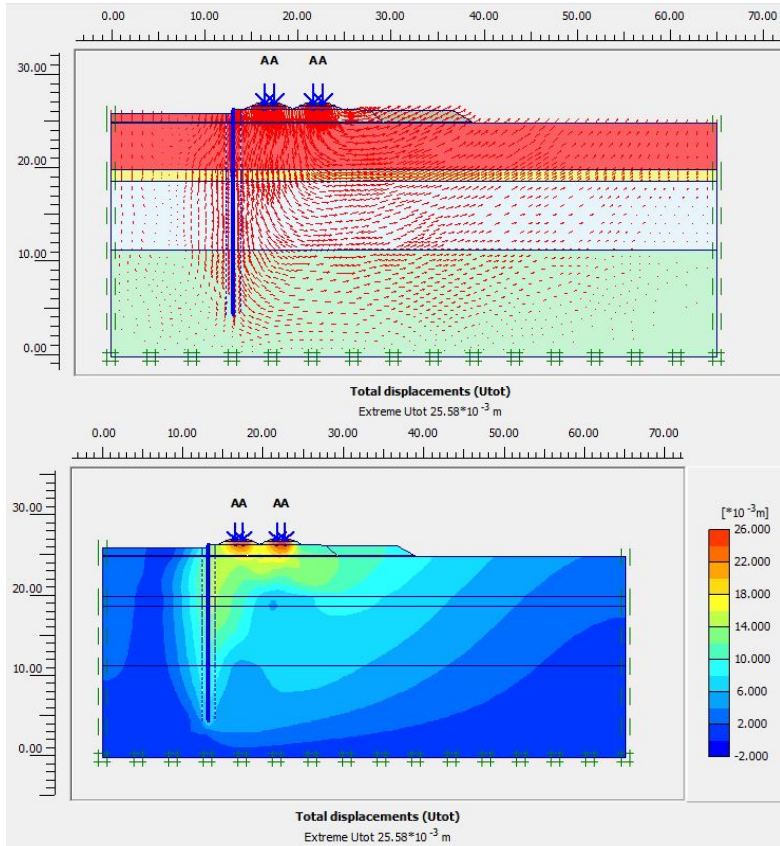
3. Percobaan 3 Lebar Timbunan 20 m, Panjang 200 m, dan Tinggi 0,8 m



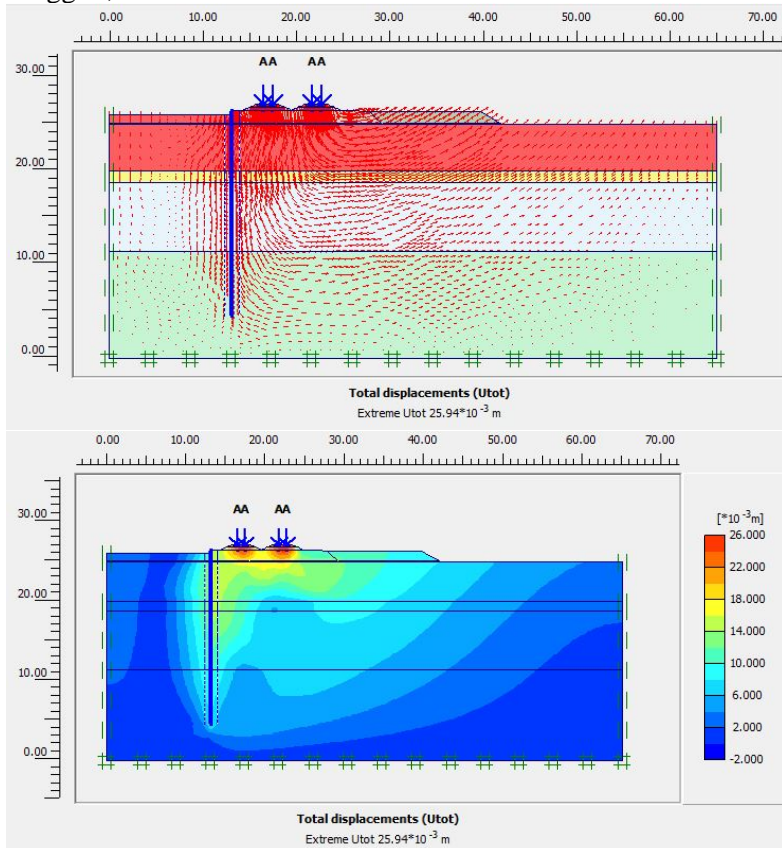


-Zona 3 (3 variasi lebar timbunan 10 m, 13.1 m, 20 m)

1. Percobaan 1 Lebar Timbunan 10 m, Panjang 200 m, dan Tinggi 0,7 m

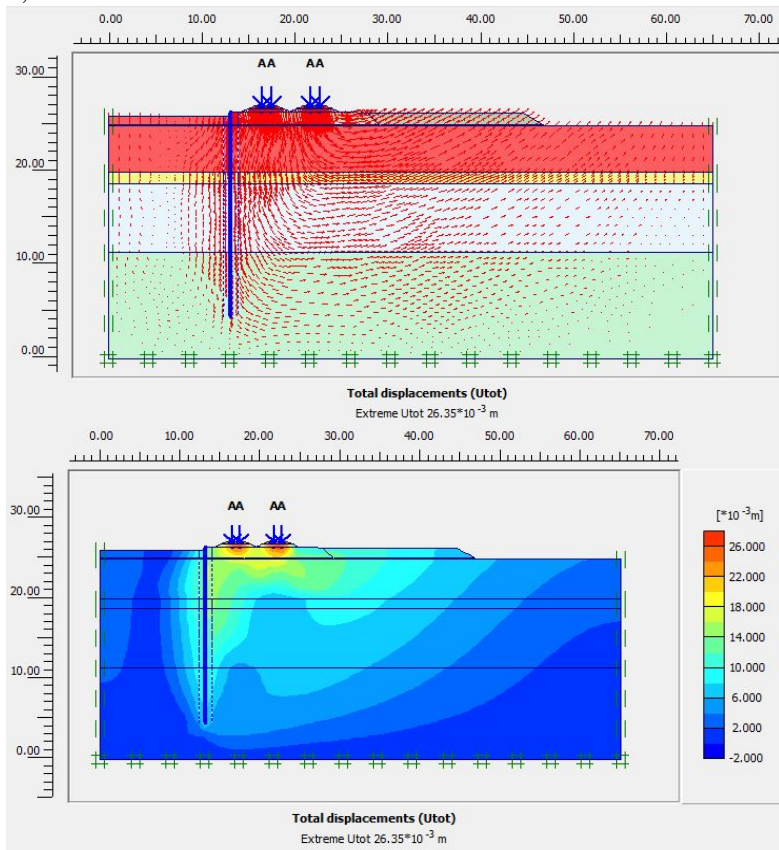


2. Percobaan 2 Lebar Timbunan 13.1 m, Panjang 200 m, dan Tinggi 0,7 m

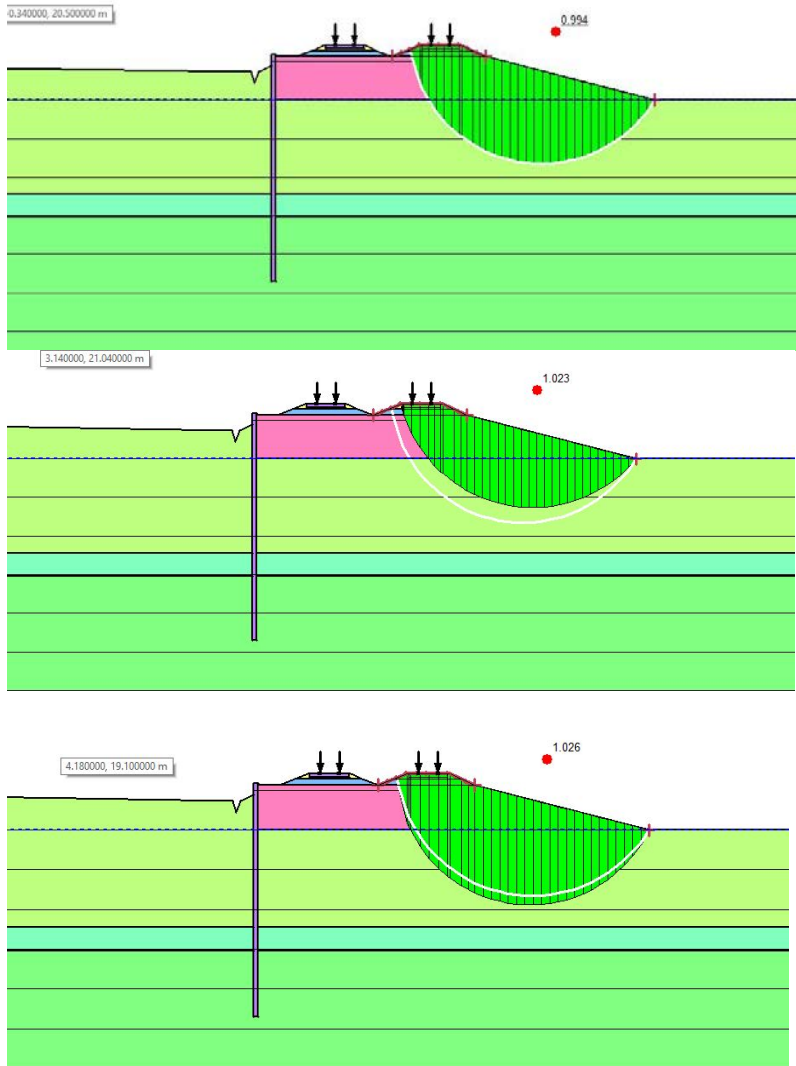


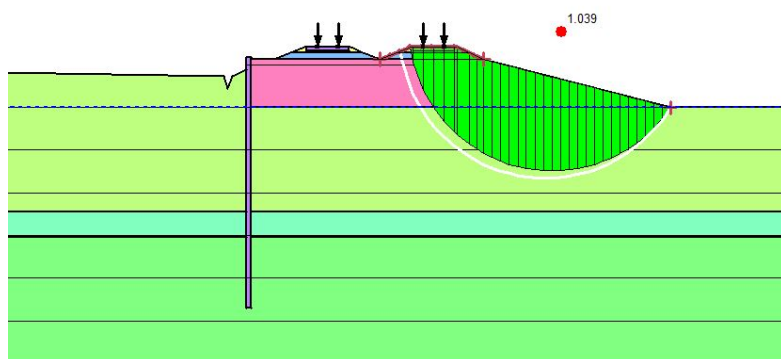
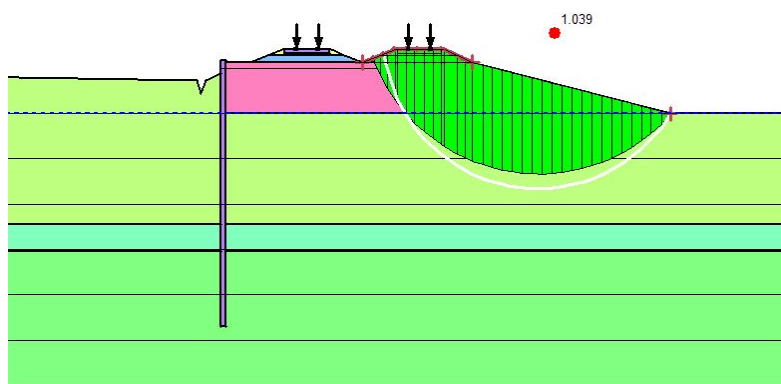


### 3. Percobaan 3 Lebar Timbunan 20 m, Panjang 200 m, dan Tinggi 0,7 m

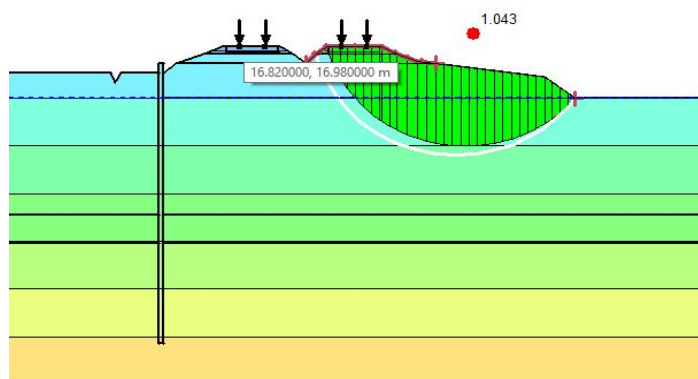
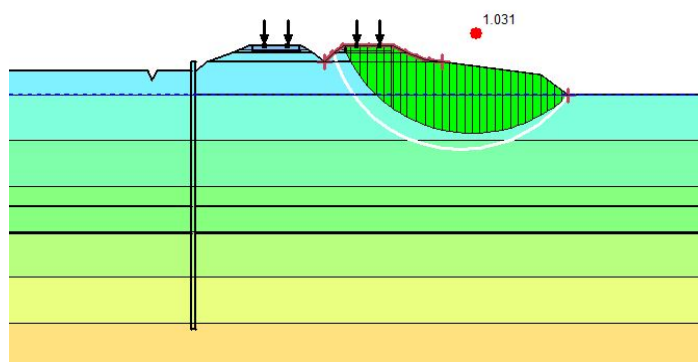
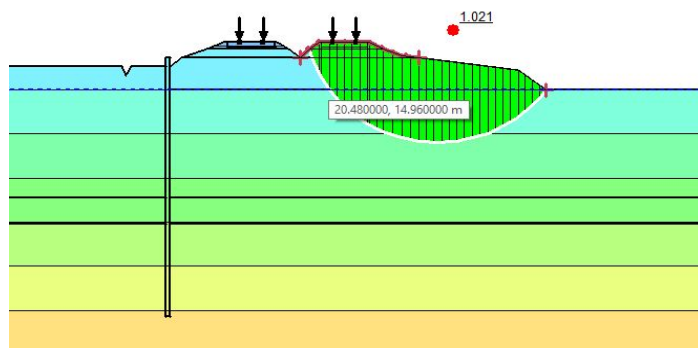


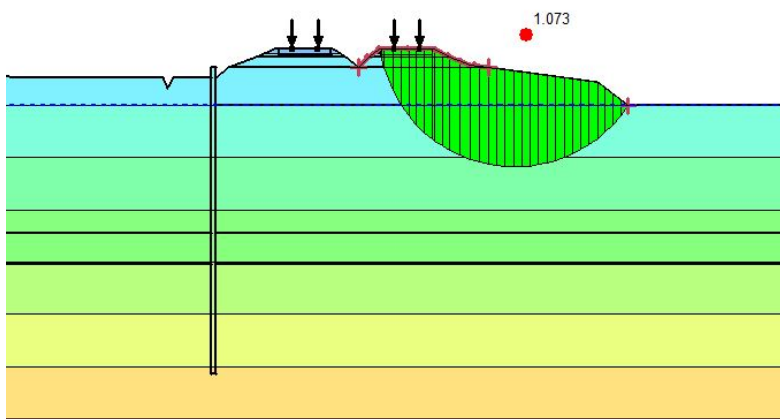
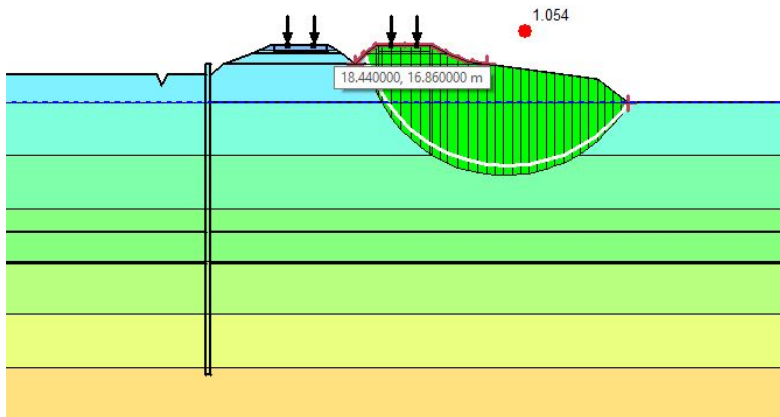
**Lampiran 4.j** Variasi Jari-Jari Kelongosoran, dan Variasi SF  
-Zona 1 (SF 0.99, 1.023, 1.026, 1.039, 1.039)



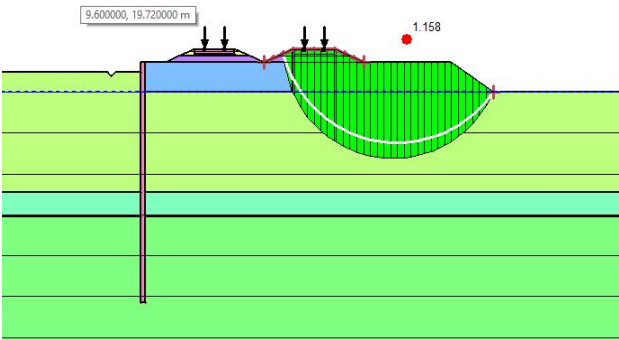
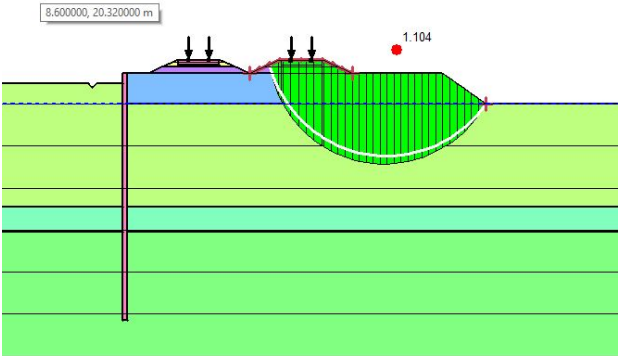
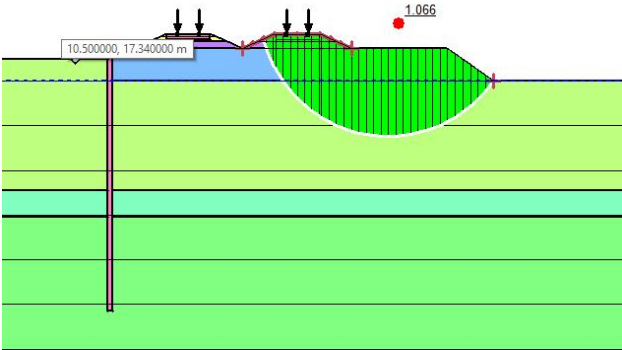


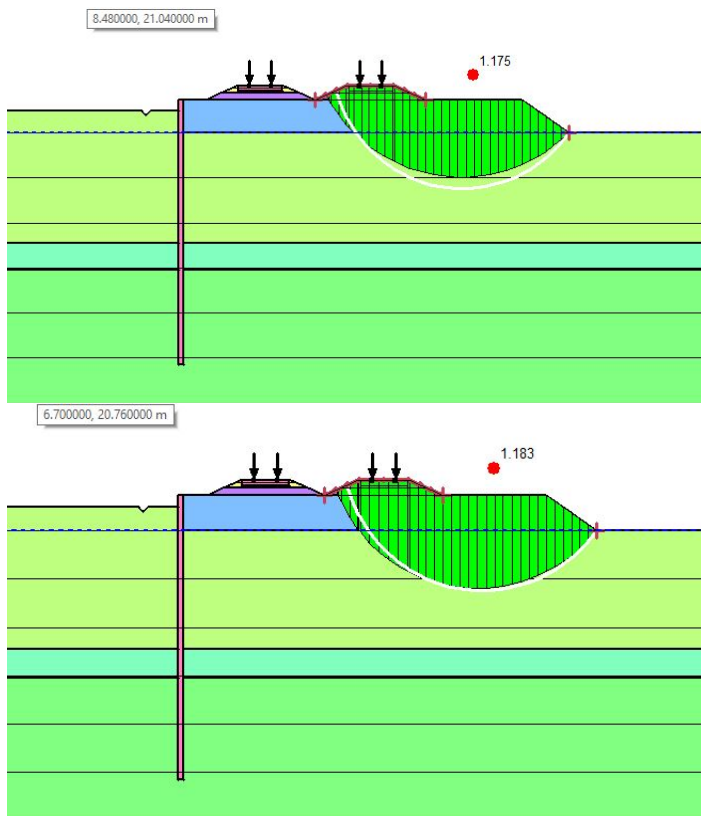
-Zona 2 (SF 1.021, 1.031, 1.043, 1.054, 1.073)





-Zona 3 (SF 1.066, 1.104, 1.158, 1.175, 1.183)





#### Lampiran 4.k Perhitungan Cerucuk

-Zona 1

Sfex	0.994	Sfren	1.5	R (m)	7.07																						
fc (kg/cm2)	E	d(cm)	tebal (cm)	l (cm4)	cu(kg/cm2)	qu(kg/cm2)	f(kg/cm3)	T (cm)	Mpmax (kgcm)	Fm	L (cm)	Xt	Yt	S (cm)	Xs	Ys	Xn(jumlah asumsi)	Yn	Xd	Yd	FKg	Pmax (kg)	Mr (kNm)	Md (kNm)	Δ Mr (kNm)	Pt (kN)	n (jumlah cerucuk)
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	0	1.05	0.16	2.146	5.28	6935.2	1832.94	1844	933.066	131.98	1.902968
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	1	1	0.16	2.146	5.04	6625.6	1832.94	1844	933.066	131.98	1.991888
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	2	0.96	0.16	2.146	4.81	6316	1832.94	1844	933.066	131.98	2.089525
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	3	0.91	0.16	2.146	4.57	6006.4	1832.94	1844	933.066	131.98	2.197228
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	4	0.86	0.16	2.146	4.33	5696.9	1832.94	1844	933.066	131.98	2.316637
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	5	0.82	0.16	2.146	4.1	5387.3	1832.94	1844	933.066	131.98	2.449771
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	6	0.77	0.16	2.146	3.86	5077.7	1832.94	1844	933.066	131.98	2.599139
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	7	0.72	0.16	2.146	3.63	4768.1	1832.94	1844	933.066	131.98	2.767905
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	8	0.68	0.16	2.146	3.39	4458.5	1832.94	1844	933.066	131.98	2.960109
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	9	0.63	0.16	2.146	3.16	4148.9	1832.94	1844	933.066	131.98	3.180999
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	10	0.58	0.16	2.146	2.92	3839.3	1832.94	1844	933.066	131.98	3.437513



Sflex	1.023	Sfren	1.5	R (m)	7.21																						
fc (kg/ cm2	E	d(cm)	tebal (cm)	l (cm4)	cu(kg/ cm2)	qu(kg/ /cm2)	f(kg/ cm3)	T (cm)	Mpmax (kgcm)	Fm	L (cm)	Xt	Yt	S (cm)	Xs	Ys	Xn(juml ah asumsi)	Yn	Xd	Yd	FKg	Pmax (kg)	Mr (kNm)	Md (kNm)	Δ Mr (kNm)	Pt (kN)	n (jumlah cerucuk)
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	0	1.05	0.16	2.146	5.28	6935.2	1907.34	1864.46	889.3462	123.35	1.778583
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	1	1	0.16	2.146	5.04	6625.6	1907.34	1864.46	889.3462	123.35	1.861691
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	2	0.96	0.16	2.146	4.81	6316	1907.34	1864.46	889.3462	123.35	1.952946
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	3	0.91	0.16	2.146	4.57	6006.4	1907.34	1864.46	889.3462	123.35	2.053609
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	4	0.86	0.16	2.146	4.33	5696.9	1907.34	1864.46	889.3462	123.35	2.165213
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	5	0.82	0.16	2.146	4.1	5387.3	1907.34	1864.46	889.3462	123.35	2.289644
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	6	0.77	0.16	2.146	3.86	5077.7	1907.34	1864.46	889.3462	123.35	2.42925
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	7	0.72	0.16	2.146	3.63	4768.1	1907.34	1864.46	889.3462	123.35	2.586984
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	8	0.68	0.16	2.146	3.39	4458.5	1907.34	1864.46	889.3462	123.35	2.766225
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	9	0.63	0.16	2.146	3.16	4148.9	1907.34	1864.46	889.3462	123.35	2.973077
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	10	0.58	0.16	2.146	2.92	3839.3	1907.34	1864.46	889.3462	123.35	3.212825
Sflex	1.026	Sfren	1.5	R (m)	6.86																						
fc (kg/ cm2	E	d(cm)	tebal (cm)	l (cm4)	cu(kg/ cm2)	qu(kg/ /cm2)	f(kg/ cm3)	T (cm)	Mpmax (kgcm)	Fm	L (cm)	Xt	Yt	S (cm)	Xs	Ys	Xn(juml ah asumsi)	Yn	Xd	Yd	FKg	Pmax (kg)	Mr (kNm)	Md (kNm)	Δ Mr (kNm)	Pt (kN)	n (jumlah cerucuk)
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	0	1.05	0.16	2.146	5.28	6935.2	1850.29	1803.4	854.8123	124.61	1.796739
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	1	1	0.16	2.146	5.04	6625.6	1850.29	1803.4	854.8123	124.61	1.890696
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	2	0.96	0.16	2.146	4.81	6316	1850.29	1803.4	854.8123	124.61	1.972883
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	3	0.91	0.16	2.146	4.57	6006.4	1850.29	1803.4	854.8123	124.61	2.074574
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	4	0.86	0.16	2.146	4.33	5696.9	1850.29	1803.4	854.8123	124.61	2.187317
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	5	0.82	0.16	2.146	4.1	5387.3	1850.29	1803.4	854.8123	124.61	2.313019
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	6	0.77	0.16	2.146	3.86	5077.7	1850.29	1803.4	854.8123	124.61	2.450409
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	7	0.72	0.16	2.146	3.63	4768.1	1850.29	1803.4	854.8123	124.61	2.613394
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	8	0.68	0.16	2.146	3.39	4458.5	1850.29	1803.4	854.8123	124.61	2.794869
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	9	0.63	0.16	2.146	3.16	4148.9	1850.29	1803.4	854.8123	124.61	3.003428
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	10	0.58	0.16	2.146	2.92	3839.3	1850.29	1803.4	854.8123	124.61	3.245623

Sfex	1.039	Sfren	1.5	R (m)	8																						
fc (kg/ cm2	E	d(cm)	tebal (cm)	l (cm4)	cu(kg/ cm2)	qu(kg/ cm2)	f(kg/ cm3)	T (cm)	Mpmax (kgcm)	Fm	L (cm)	Xt	Yt	S (cm)	Xs	Ys	Xn(juml ah asumsi)	Yn	Xd	Yd	FKg	Pmax (kg)	Mr (kNm)	Md (kNm)	Δ Mr (kNm)	Pt (kN)	n (jumlah cerucuk)
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	0	1.05	0.16	2.146	5.28	6935.2	2020.11	1944.28	896.3144	112.04	1.615507
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	1	1	0.16	2.146	5.04	6625.6	2020.11	1944.28	896.3144	112.04	1.690995
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	2	0.96	0.16	2.146	4.81	6316	2020.11	1944.28	896.3144	112.04	1.773883
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	3	0.91	0.16	2.146	4.57	6006.4	2020.11	1944.28	896.3144	112.04	1.865317
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	4	0.86	0.16	2.146	4.33	5696.9	2020.11	1944.28	896.3144	112.04	1.966688
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	5	0.82	0.16	2.146	4.1	5387.3	2020.11	1944.28	896.3144	112.04	2.07971
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	6	0.77	0.16	2.146	3.86	5077.7	2020.11	1944.28	896.3144	112.04	2.206515
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	7	0.72	0.16	2.146	3.63	4768.1	2020.11	1944.28	896.3144	112.04	2.349788
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	8	0.68	0.16	2.146	3.39	4458.5	2020.11	1944.28	896.3144	112.04	2.512958
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	9	0.63	0.16	2.146	3.16	4148.9	2020.11	1944.28	896.3144	112.04	2.70048
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	10	0.58	0.16	2.146	2.92	3839.3	2020.11	1944.28	896.3144	112.04	2.918246
Sfex	1.039	Sfren	1.5	R (m)	6.89																						
fc (kg/ cm2	E	d(cm)	tebal (cm)	l (cm4)	cu(kg/ cm2)	qu(kg/ cm2)	f(kg/ cm3)	T (cm)	Mpmax (kgcm)	Fm	L (cm)	Xt	Yt	S (cm)	Xs	Ys	Xn(juml ah asumsi)	Yn	Xd	Yd	FKg	Pmax (kg)	Mr (kNm)	Md (kNm)	Δ Mr (kNm)	Pt (kN)	n (jumlah cerucuk)
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	0	1.05	0.16	2.146	5.28	6935.2	1894.85	1823.72	840.7371	122.02	1.75946
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	1	1	0.16	2.146	5.04	6625.6	1894.85	1823.72	840.7371	122.02	1.841675
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	2	0.96	0.16	2.146	4.81	6316	1894.85	1823.72	840.7371	122.02	1.931949
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	3	0.91	0.16	2.146	4.57	6006.4	1894.85	1823.72	840.7371	122.02	2.03153
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	4	0.86	0.16	2.146	4.33	5696.9	1894.85	1823.72	840.7371	122.02	2.141934
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	5	0.82	0.16	2.146	4.1	5387.3	1894.85	1823.72	840.7371	122.02	2.265027
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	6	0.77	0.16	2.146	3.86	5077.7	1894.85	1823.72	840.7371	122.02	2.403132
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	7	0.72	0.16	2.146	3.63	4768.1	1894.85	1823.72	840.7371	122.02	2.55917
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	8	0.68	0.16	2.146	3.39	4458.5	1894.85	1823.72	840.7371	122.02	2.73688
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	9	0.63	0.16	2.146	3.16	4148.9	1894.85	1823.72	840.7371	122.02	2.941112
600	115126.018	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.2153	250000	1	490	16.333	1.12	100	3.333	0.8326	10	0.58	0.16	2.146	2.92	3839.3	1894.85	1823.72	840.7371	122.02	3.178282

-Zona 2

Sfex	1.021	Sfrend	1.5	R (m)	5.7																						
fc (kg/cm2 )	E	d(cm)	tebal (cm)	l (cm4)	cu(kg/cm2)	qu(kg/cm2)	f(kg/cm3)	T (cm)	Mpmax (kgcm)	Fm	L (cm)	Xt	Yt	S (cm)	Xs	Ys	Xn(jumlah asumsi)	Yn	Xd	Yd	FKg	Pmax (kg)	Mr (kNm)	Md (kNm)	Δ Mr (kNm)	Pt (kN)	n (jumlah cerucuk)
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	0	1.051	0.1577	2.146	6.1248	8049.9	1114	1091.04	522.607	91.685	1.138971
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	1	1.004	0.1577	2.146	5.8514	7690.5	1114	1091.04	522.607	91.685	1.192192
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	2	0.957	0.1577	2.146	5.578	7331.1	1114	1091.04	522.607	91.685	1.25063
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	3	0.91	0.1577	2.146	5.3046	6971.8	1114	1091.04	522.607	91.685	1.315093
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	4	0.863	0.1577	2.146	5.0311	6612.4	1114	1091.04	522.607	91.685	1.386562
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	5	0.816	0.1577	2.146	4.7577	6253.1	1114	1091.04	522.607	91.685	1.466245
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	6	0.769	0.1577	2.146	4.4843	5893.7	1114	1091.04	522.607	91.685	1.555646
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	7	0.722	0.1577	2.146	4.2109	5534.4	1114	1091.04	522.607	91.685	1.656656
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	8	0.675	0.1577	2.146	3.9375	5175	1114	1091.04	522.607	91.685	1.771695
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	9	0.629	0.1577	2.146	3.664	4815.7	1114	1091.04	522.607	91.685	1.903903
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	10	0.582	0.1577	2.146	3.3906	4456.3	1114	1091.04	522.607	91.685	2.057433

Sfex	1.031	Sfrend	1.5	R (m)	5.96																						
fc (kg/ cm <sup>2</sup> )	E	d(cm)	tebal (cm)	l (cm4)	cu(kg /cm2)	qu(kg /cm2)	f(kg/ cm3)	T (cm)	Mpmax (kgcm)	Fm	L (cm)	Xt	Yt	S (cm)	Xs	Ys	Xn(jum lah asumsi)	Yn	Xd	Yd	FKg	Pmax (kg)	Mr (kNm)	Md (kNm)	Δ Mr (kNm)	Pt (kN)	n (jumlah cerucuk)
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	0	1.051	0.1577	2.146	6.1248	8049.9	1194.2	1158.27	543.23	91.146	1.132269
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	1	1.004	0.1577	2.146	5.8514	7690.5	1194.2	1158.27	543.23	91.146	1.185177
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	2	0.957	0.1577	2.146	5.578	7331.1	1194.2	1158.27	543.23	91.146	1.243272
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	3	0.91	0.1577	2.146	5.3046	6971.8	1194.2	1158.27	543.23	91.146	1.307355
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	4	0.863	0.1577	2.146	5.0311	6612.4	1194.2	1158.27	543.23	91.146	1.378403
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	5	0.816	0.1577	2.146	4.7577	6253.1	1194.2	1158.27	543.23	91.146	1.457618
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	6	0.769	0.1577	2.146	4.4843	5893.7	1194.2	1158.27	543.23	91.146	1.546493
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	7	0.722	0.1577	2.146	4.2109	5534.4	1194.2	1158.27	543.23	91.146	1.646909
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	8	0.675	0.1577	2.146	3.9375	5175	1194.2	1158.27	543.23	91.146	1.761271
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	9	0.629	0.1577	2.146	3.664	4815.7	1194.2	1158.27	543.23	91.146	1.8927
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	10	0.582	0.1577	2.146	3.3906	4456.3	1194.2	1158.27	543.23	91.146	2.045327
Sfex	1.043	Sfrend	1.5	R (m)	5.6																						
fc (kg/ cm <sup>2</sup> )	E	d(cm)	tebal (cm)	l (cm4)	cu(kg /cm2)	qu(kg /cm2)	f(kg/ cm3)	T (cm)	Mpmax (kgcm)	Fm	L (cm)	Xt	Yt	S (cm)	Xs	Ys	Xn(jum lah asumsi)	Yn	Xd	Yd	FKg	Pmax (kg)	Mr (kNm)	Md (kNm)	Δ Mr (kNm)	Pt (kN)	n (jumlah cerucuk)
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	0	1.051	0.1577	2.146	6.1248	8049.9	1168.7	1120.48	512.059	91.439	1.13591
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	1	1.004	0.1577	2.146	5.8514	7690.5	1168.7	1120.48	512.059	91.439	1.188988
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	2	0.957	0.1577	2.146	5.578	7331.1	1168.7	1120.48	512.059	91.439	1.24727
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	3	0.91	0.1577	2.146	5.3046	6971.8	1168.7	1120.48	512.059	91.439	1.311559
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	4	0.863	0.1577	2.146	5.0311	6612.4	1168.7	1120.48	512.059	91.439	1.382836
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	5	0.816	0.1577	2.146	4.7577	6253.1	1168.7	1120.48	512.059	91.439	1.462305
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	6	0.769	0.1577	2.146	4.4843	5893.7	1168.7	1120.48	512.059	91.439	1.551466
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	7	0.722	0.1577	2.146	4.2109	5534.4	1168.7	1120.48	512.059	91.439	1.652205
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	8	0.675	0.1577	2.146	3.9375	5175	1168.7	1120.48	512.059	91.439	1.766934
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	9	0.629	0.1577	2.146	3.664	4815.7	1168.7	1120.48	512.059	91.439	1.898787
600	115126.02	30	6	34607.8	0.13	0.26	0.02	190.2	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	10	0.582	0.1577	2.146	3.3906	4456.3	1168.7	1120.48	512.059	91.439	2.051904



## -Zona 3

Sfex	1.066	Sfrend	1.5	R (m)	5.89																						
fc (kg/ cm2 )	E	d(cm)	tebal (cm)	I (cm4)	cu(kg /cm2)	qu(kg /cm2)	f(kg/ cm3)	T (cm)	Mpmax (kgcm)	Fm	L (cm)	Xt	Yt	S (cm)	Xs	Ys	Xn(juml ah asumsi)	Yn	Xd	Yd	FKg	Pmax (kg)	Mr (kNm)	Md (kNm)	Δ Mr (kNm)	Pt (kN)	n (jumlah cerucuk)
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	0	1.051	0.1577	2.146	6.125	8049.85	1149.4	1078.26	467.9627	79.45038	0.986979
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	1	1.004	0.1577	2.146	5.851	7690.5	1149.4	1078.26	467.9627	79.45038	1.033098
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	2	0.957	0.1577	2.146	5.578	7331.14	1149.4	1078.26	467.9627	79.45038	1.083738
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	3	0.91	0.1577	2.146	5.305	6971.79	1149.4	1078.26	467.9627	79.45038	1.139598
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	4	0.863	0.1577	2.146	5.031	6612.43	1149.4	1078.26	467.9627	79.45038	1.20153
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	5	0.816	0.1577	2.146	4.758	6253.08	1149.4	1078.26	467.9627	79.45038	1.27058
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	6	0.769	0.1577	2.146	4.484	5893.72	1149.4	1078.26	467.9627	79.45038	1.34805
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	7	0.722	0.1577	2.146	4.211	5534.37	1149.4	1078.26	467.9627	79.45038	1.435581
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	8	0.675	0.1577	2.146	3.937	5175.02	1149.4	1078.26	467.9627	79.45038	1.535269
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	9	0.629	0.1577	2.146	3.664	4815.66	1149.4	1078.26	467.9627	79.45038	1.649834
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	10	0.582	0.1577	2.146	3.391	4456.31	1149.4	1078.26	467.9627	79.45038	1.782875

Sfex	1.104	Sfrend	1.5	R (m)	5.6																						
fc (kg/ cm2 )	E	d(cm)	tebal (cm)	l (cm4)	cu(kg /cm2)	qu(kg /cm2)	f(kg/ cm3)	T (cm)	Mpmax (kgcm)	Fm	L (cm)	Xt	Yt	S (cm)	Xs	Ys	Xn(juml ah asumsi)	Yn	Xd	Yd	FKg	Pmax (kg)	Mr (kNm)	Md (kNm)	Δ Mr (kNm)	Pt (kN)	n (jumlah cerucuk)
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	0	1.051	0.1577	2.146	6.125	8049.85	1153.7	1045.03	413.8308	73.89835	0.918009
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	1	1.004	0.1577	2.146	5.851	7690.5	1153.7	1045.03	413.8308	73.89835	0.960905
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	2	0.957	0.1577	2.146	5.578	7331.14	1153.7	1045.03	413.8308	73.89835	1.008006
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	3	0.91	0.1577	2.146	5.305	6971.79	1153.7	1045.03	413.8308	73.89835	1.059963
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	4	0.863	0.1577	2.146	5.031	6612.43	1153.7	1045.03	413.8308	73.89835	1.117567
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	5	0.816	0.1577	2.146	4.758	6253.08	1153.7	1045.03	413.8308	73.89835	1.181791
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	6	0.769	0.1577	2.146	4.484	5893.72	1153.7	1045.03	413.8308	73.89835	1.253848
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	7	0.722	0.1577	2.146	4.211	5534.37	1153.7	1045.03	413.8308	73.89835	1.335262
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	8	0.675	0.1577	2.146	3.937	5175.02	1153.7	1045.03	413.8308	73.89835	1.427983
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	9	0.629	0.1577	2.146	3.664	4815.66	1153.7	1045.03	413.8308	73.89835	1.534542
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	10	0.582	0.1577	2.146	3.391	4456.31	1153.7	1045.03	413.8308	73.89835	1.658287
Sfex	1.158	Sfrend	1.5	R (m)	5.5																						
fc (kg/ cm2 )	E	d(cm)	tebal (cm)	l (cm4)	cu(kg /cm2)	qu(kg /cm2)	f(kg/ cm3)	T (cm)	Mpmax (kgcm)	Fm	L (cm)	Xt	Yt	S (cm)	Xs	Ys	Xn(juml ah asumsi)	Yn	Xd	Yd	FKg	Pmax (kg)	Mr (kNm)	Md (kNm)	Δ Mr (kNm)	Pt (kN)	n (jumlah cerucuk)
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	0	1.051	0.1577	2.146	6.125	8049.85	1173.4	1013.32	346.557	63.01037	0.782752
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	1	1.004	0.1577	2.146	5.851	7690.5	1173.4	1013.32	346.557	63.01037	0.819328
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	2	0.957	0.1577	2.146	5.578	7331.14	1173.4	1013.32	346.557	63.01037	0.859489
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	3	0.91	0.1577	2.146	5.305	6971.79	1173.4	1013.32	346.557	63.01037	0.903791
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	4	0.863	0.1577	2.146	5.031	6612.43	1173.4	1013.32	346.557	63.01037	0.952907
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	5	0.816	0.1577	2.146	4.758	6253.08	1173.4	1013.32	346.557	63.01037	1.007669
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	6	0.769	0.1577	2.146	4.484	5893.72	1173.4	1013.32	346.557	63.01037	1.06911
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	7	0.722	0.1577	2.146	4.211	5534.37	1173.4	1013.32	346.557	63.01037	1.138528
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	8	0.675	0.1577	2.146	3.937	5175.02	1173.4	1013.32	346.557	63.01037	1.217588
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	9	0.629	0.1577	2.146	3.664	4815.66	1173.4	1013.32	346.557	63.01037	1.308447
600	115126.02	30	6	34607.78	0.13	0.26	0.02	190.22	250000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	10	0.582	0.1577	2.146	3.391	4456.31	1173.4	1013.32	346.557	63.01037	1.41396





## Lampiran 4.1 Perhitungan Turap Metode Cerucuk -Zona 1

Sfex	0.994	Sfren	1.5	R (m)	7.07																				
fc (kg/cm2	E	I (cm4	cu(kg/cm2	qu(kg/cm2	f(kg/cm3)	T (cm)	Mpmax (kgcm	Fm	L (cm)	Xt	Yt	S (cm)	Xs	Ys	Xn(jumlah asumsi)	Yn	Xd	Yd	FKg	Pmax (kg)	Mr (kNm)	Md (kNm)	Δ Mr (kNm)	Pt (kN)	n (jumlah cerucuk)
600	115126	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	0	1.05	0.17	2.66	11.8	23661	1832.94	1844	933.066	131.98	0.557767
600	115126	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	1	1	0.17	2.66	11.3	22605	1832.94	1844	933.066	131.98	0.58383
600	115126	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	2	0.96	0.17	2.66	10.7	21549	1832.94	1844	933.066	131.98	0.612448
600	115126	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	3	0.91	0.17	2.66	10.2	20493	1832.94	1844	933.066	131.98	0.644016
600	115126	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	4	0.86	0.17	2.66	9.69	19436	1832.94	1844	933.066	131.98	0.679016
600	115126	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	5	0.82	0.17	2.66	9.16	18380	1832.94	1844	933.066	131.98	0.718038
600	115126	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	6	0.77	0.17	2.66	8.64	17324	1832.94	1844	933.066	131.98	0.761818
600	115126	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	7	0.72	0.17	2.66	8.11	16267	1832.94	1844	933.066	131.98	0.811284
600	115126	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	8	0.68	0.17	2.66	7.58	15211	1832.94	1844	933.066	131.98	0.86762
600	115126	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	9	0.63	0.17	2.66	7.06	14155	1832.94	1844	933.066	131.98	0.932363
600	115126	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	10	0.58	0.17	2.66	6.53	13099	1832.94	1844	933.066	131.98	1.007549

Sfex	1.023	Sfren	1.5	R (m)	7.21																				
fc (kg/ cm2)	E	I (cm4)	cu(kg/ cm2)	qu(kg/ /cm2)	f(kg/ cm3)	T (cm)	Mpmax (kgcm)	Fm	L (cm)	Xt	Yt	S (cm)	Xs	Ys	Xn(juml ah asumsi)	Yn	Xd	Yd	Fkg	Pmax (kg)	Mr (kNm)	Md (kNm)	Δ Mr (kNm)	Pt (kN)	n (jumlah cerucuk)
600	115126	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	0	1.05	0.17	2.66	11.8	23661	1907.34	1864.46	889.3462	123.35	0.52131
600	115126	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	1	1	0.17	2.66	11.3	22605	1907.34	1864.46	889.3462	123.35	0.545669
600	115126	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	2	0.96	0.17	2.66	10.7	21549	1907.34	1864.46	889.3462	123.35	0.572416
600	115126	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	3	0.91	0.17	2.66	10.2	20493	1907.34	1864.46	889.3462	123.35	0.601921
600	115126	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	4	0.86	0.17	2.66	9.69	19436	1907.34	1864.46	889.3462	123.35	0.634633
600	115126	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	5	0.82	0.17	2.66	9.16	18380	1907.34	1864.46	889.3462	123.35	0.671104
600	115126	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	6	0.77	0.17	2.66	8.64	17324	1907.34	1864.46	889.3462	123.35	0.712023
600	115126	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	7	0.72	0.17	2.66	8.11	16267	1907.34	1864.46	889.3462	123.35	0.758255
600	115126	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	8	0.68	0.17	2.66	7.58	15211	1907.34	1864.46	889.3462	123.35	0.810909
600	115126	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	9	0.63	0.17	2.66	7.06	14155	1907.34	1864.46	889.3462	123.35	0.871421
600	115126	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	10	0.58	0.17	2.66	6.53	13099	1907.34	1864.46	889.3462	123.35	0.941692
Sfex	1.026	Sfren	1.5	R (m)	6.86																				
fc (kg/ cm2)	E	I (cm4)	cu(kg/ cm2)	qu(kg/ /cm2)	f(kg/ cm3)	T (cm)	Mpmax (kgcm)	Fm	L (cm)	Xt	Yt	S (cm)	Xs	Ys	Xn(juml ah asumsi)	Yn	Xd	Yd	Fkg	Pmax (kg)	Mr (kNm)	Md (kNm)	Δ Mr (kNm)	Pt (kN)	n (jumlah cerucuk)
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	0	1.05	0.17	2.66	11.8	23661	1850.29	1803.4	854.8123	124.61	0.526632
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	1	1	0.17	2.66	11.3	22605	1850.29	1803.4	854.8123	124.61	0.551239
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	2	0.96	0.17	2.66	10.7	21549	1850.29	1803.4	854.8123	124.61	0.57826
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	3	0.91	0.17	2.66	10.2	20493	1850.29	1803.4	854.8123	124.61	0.608066
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	4	0.86	0.17	2.66	9.69	19436	1850.29	1803.4	854.8123	124.61	0.641111
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	5	0.82	0.17	2.66	9.16	18380	1850.29	1803.4	854.8123	124.61	0.677955
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	6	0.77	0.17	2.66	8.64	17324	1850.29	1803.4	854.8123	124.61	0.719292
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	7	0.72	0.17	2.66	8.11	16267	1850.29	1803.4	854.8123	124.61	0.765996
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	8	0.68	0.17	2.66	7.58	15211	1850.29	1803.4	854.8123	124.61	0.819187
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	9	0.63	0.17	2.66	7.06	14155	1850.29	1803.4	854.8123	124.61	0.880317
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	10	0.58	0.17	2.66	6.53	13099	1850.29	1803.4	854.8123	124.61	0.951305

Sfex	1.039	Sfren	1.5	R (m)	8																				
fc (kg/ cm2)	E	l (cm4)	cu(kg/ cm2)	qu(kg/ cm2)	f(kg/ cm3)	T (cm)	Mpmax (kgcm)	Fm	L (cm)	Xt	Yt	S (cm)	Xs	Ys	Xn(juml ah asumsi)	Yn	Xd	Yd	FKg	Pmax (kg)	Mr (kNm)	Md (kNm)	Δ Mr (kNm)	Pt (kN)	n (jumlah cerucuk)
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	0	1.05	0.17	2.66	11.8	23661	2020.11	1944.28	896.3144	112.04	0.473512
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	1	1	0.17	2.66	11.3	22605	2020.11	1944.28	896.3144	112.04	0.495637
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	2	0.96	0.17	2.66	10.7	21549	2020.11	1944.28	896.3144	112.04	0.519932
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	3	0.91	0.17	2.66	10.2	20493	2020.11	1944.28	896.3144	112.04	0.546732
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	4	0.86	0.17	2.66	9.69	19436	2020.11	1944.28	896.3144	112.04	0.576444
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	5	0.82	0.17	2.66	9.16	18380	2020.11	1944.28	896.3144	112.04	0.609571
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	6	0.77	0.17	2.66	8.64	17324	2020.11	1944.28	896.3144	112.04	0.646738
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	7	0.72	0.17	2.66	8.11	16267	2020.11	1944.28	896.3144	112.04	0.688732
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	8	0.68	0.17	2.66	7.58	15211	2020.11	1944.28	896.3144	112.04	0.736558
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	9	0.63	0.17	2.66	7.06	14155	2020.11	1944.28	896.3144	112.04	0.791521
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	10	0.58	0.17	2.66	6.53	13099	2020.11	1944.28	896.3144	112.04	0.855349
Sfex	1.039	Sfren	1.5	R (m)	6.89																				
fc (kg/ cm2)	E	l (cm4)	cu(kg/ cm2)	qu(kg/ cm2)	f(kg/ cm3)	T (cm)	Mpmax (kgcm)	Fm	L (cm)	Xt	Yt	S (cm)	Xs	Ys	Xn(juml ah asumsi)	Yn	Xd	Yd	FKg	Pmax (kg)	Mr (kNm)	Md (kNm)	Δ Mr (kNm)	Pt (kN)	n (jumlah cerucuk)
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	0	1.05	0.17	2.66	11.8	23661	1894.85	1823.72	840.7371	122.02	0.515705
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	1	1	0.17	2.66	11.3	22605	1894.85	1823.72	840.7371	122.02	0.539802
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	2	0.96	0.17	2.66	10.7	21549	1894.85	1823.72	840.7371	122.02	0.566262
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	3	0.91	0.17	2.66	10.2	20493	1894.85	1823.72	840.7371	122.02	0.595449
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	4	0.86	0.17	2.66	9.69	19436	1894.85	1823.72	840.7371	122.02	0.627809
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	5	0.82	0.17	2.66	9.16	18380	1894.85	1823.72	840.7371	122.02	0.663889
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	6	0.77	0.17	2.66	8.64	17324	1894.85	1823.72	840.7371	122.02	0.704367
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	7	0.72	0.17	2.66	8.11	16267	1894.85	1823.72	840.7371	122.02	0.750103
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	8	0.68	0.17	2.66	7.58	15211	1894.85	1823.72	840.7371	122.02	0.80219
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	9	0.63	0.17	2.66	7.06	14155	1894.85	1823.72	840.7371	122.02	0.862052
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5208	350000	1	790	26.333	2.02	100	3.333	0.8326	10	0.58	0.17	2.66	6.53	13099	1894.85	1823.72	840.7371	122.02	0.931567

## -Zona 2

SFex	1.021	R (m)	5.7																							
fc (kg/cm2)	E	I (cm4)	cu(kg/cm2)	qu(kg/cm2)	f(kg/cm3)	T (cm)	Mpmax (kg/cm2)	Fm	L (cm)	Xt	Yt	S (cm)	Xs	Ys	Xn(jumlah lah asumsi)	Yn	Xd	Yd	FKg	Pmax (kg)	Mr (kNm)	Md (kNm)	Δ Mr (kNm)	Pt (kN)	n (jumlah cerucuk)	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	0	1.051	0.1719	2.6604	7.5929	15228	1114	1091.04	522.607	91.685	0.602104	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	1	1.004	0.1719	2.6604	7.254	14548	1114	1091.04	522.607	91.685	0.630238	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	2	0.957	0.1719	2.6604	6.915	13868	1114	1091.04	522.607	91.685	0.661131	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	3	0.91	0.1719	2.6604	6.576	13188	1114	1091.04	522.607	91.685	0.695208	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	4	0.863	0.1719	2.6604	6.2371	12508	1114	1091.04	522.607	91.685	0.73299	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	5	0.816	0.1719	2.6604	5.8981	11829	1114	1091.04	522.607	91.685	0.775113	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	6	0.769	0.1719	2.6604	5.5592	11149	1114	1091.04	522.607	91.685	0.822374	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	7	0.722	0.1719	2.6604	5.2202	10469	1114	1091.04	522.607	91.685	0.875772	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	8	0.675	0.1719	2.6604	4.8813	9789.3	1114	1091.04	522.607	91.685	0.936586	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	9	0.629	0.1719	2.6604	4.5423	9109.6	1114	1091.04	522.607	91.685	1.006476	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	10	0.582	0.1719	2.6604	4.2034	8429.8	1114	1091.04	522.607	91.685	1.087637	

Sfex	1.031	R (m)	5.96																							
fc (kg/c m2)	E	l (cm4)	cu(kg /cm2)	qu(kg /cm2)	f(kg/ cm3)	T (cm)	Mpmax (kgcm)	Fm	L (cm)	Xt	Yt	S (cm)	Xs	Ys	Xn(jum lah asumsi)	Yn	Xd	Yd	FKg	Pmax (kg)	Mr (kNm)	Md (kNm)	Δ Mr (kNm)	Pt (kN)	n (jumlah cerucuk)	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	0	1.051	0.1719	2.6604	7.5929	15228	1194.2	1158.27	543.23	91.146	0.598561	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	1	1.004	0.1719	2.6604	7.254	14548	1194.2	1158.27	543.23	91.146	0.62653	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	2	0.957	0.1719	2.6604	6.915	13868	1194.2	1158.27	543.23	91.146	0.657241	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	3	0.91	0.1719	2.6604	6.576	13188	1194.2	1158.27	543.23	91.146	0.691118	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	4	0.863	0.1719	2.6604	6.2371	12508	1194.2	1158.27	543.23	91.146	0.728677	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	5	0.816	0.1719	2.6604	5.8981	11829	1194.2	1158.27	543.23	91.146	0.770553	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	6	0.769	0.1719	2.6604	5.5592	11149	1194.2	1158.27	543.23	91.146	0.817535	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	7	0.722	0.1719	2.6604	5.2202	10469	1194.2	1158.27	543.23	91.146	0.870619	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	8	0.675	0.1719	2.6604	4.8813	9789.3	1194.2	1158.27	543.23	91.146	0.931075	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	9	0.629	0.1719	2.6604	4.5423	9109.6	1194.2	1158.27	543.23	91.146	1.000554	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	10	0.582	0.1719	2.6604	4.2034	8429.8	1194.2	1158.27	543.23	91.146	1.081238	
Sfex	1.043	R (m)	5.6																							
fc (kg/c m2)	E	l (cm4)	cu(kg /cm2)	qu(kg /cm2)	f(kg/ cm3)	T (cm)	Mpmax (kgcm)	Fm	L (cm)	Xt	Yt	S (cm)	Xs	Ys	Xn(jum lah asumsi)	Yn	Xd	Yd	FKg	Pmax (kg)	Mr (kNm)	Md (kNm)	Δ Mr (kNm)	Pt (kN)	n (jumlah cerucuk)	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	0	1.051	0.1719	2.6604	7.5929	15228	1168.7	1120.48	512.059	91.439	0.600486	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	1	1.004	0.1719	2.6604	7.254	14548	1168.7	1120.48	512.059	91.439	0.628545	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	2	0.957	0.1719	2.6604	6.915	13868	1168.7	1120.48	512.059	91.439	0.659354	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	3	0.91	0.1719	2.6604	6.576	13188	1168.7	1120.48	512.059	91.439	0.69334	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	4	0.863	0.1719	2.6604	6.2371	12508	1168.7	1120.48	512.059	91.439	0.731023	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	5	0.816	0.1719	2.6604	5.8981	11829	1168.7	1120.48	512.059	91.439	0.773034	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	6	0.769	0.1719	2.6604	5.5592	11149	1168.7	1120.48	512.059	91.439	0.820164	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	7	0.722	0.1719	2.6604	5.2202	10469	1168.7	1120.48	512.059	91.439	0.873418	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	8	0.675	0.1719	2.6604	4.8813	9789.3	1168.7	1120.48	512.059	91.439	0.934069	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	9	0.629	0.1719	2.6604	4.5423	9109.6	1168.7	1120.48	512.059	91.439	1.003771	
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	10	0.582	0.1719	2.6604	4.2034	8429.8	1168.7	1120.48	512.059	91.439	1.084715	

SFex	1.054	R (m)	5.48																						
fc (kg/c m2)	E	I (cm4)	cu(kg /cm2)	qu(kg /cm2)	f(kg/ cm3)	T (cm)	Mpmax (kgcm)	Fm	L (cm)	Xt	Yt	S (cm)	Xs	Ys	Xn(jum lah asumsi)	Yn	Xd	Yd	FKg	Pmax (kg)	Mr (kNm)	Md (kNm)	Δ Mr (kNm)	Pt (kN)	n (jumlah cerucuk)
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	0	1.051	0.1719	2.6604	7.5929	15228	1115.5	1058.32	472.011	86.133	0.565643
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	1	1.004	0.1719	2.6604	7.254	14548	1115.5	1058.32	472.011	86.133	0.592073
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	2	0.957	0.1719	2.6604	6.915	13868	1115.5	1058.32	472.011	86.133	0.621095
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	3	0.91	0.1719	2.6604	6.576	13188	1115.5	1058.32	472.011	86.133	0.653109
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	4	0.863	0.1719	2.6604	6.2371	12508	1115.5	1058.32	472.011	86.133	0.688603
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	5	0.816	0.1719	2.6604	5.8981	11829	1115.5	1058.32	472.011	86.133	0.728176
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	6	0.769	0.1719	2.6604	5.5592	11149	1115.5	1058.32	472.011	86.133	0.772574
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	7	0.722	0.1719	2.6604	5.2202	10469	1115.5	1058.32	472.011	86.133	0.822739
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	8	0.675	0.1719	2.6604	4.8813	9789.3	1115.5	1058.32	472.011	86.133	0.87987
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	9	0.629	0.1719	2.6604	4.5423	9109.6	1115.5	1058.32	472.011	86.133	0.945528
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	10	0.582	0.1719	2.6604	4.2034	8429.8	1115.5	1058.32	472.011	86.133	1.021775
SFex	1.073	R (m)	5.36																						
fc (kg/c m2)	E	I (cm4)	cu(kg /cm2)	qu(kg /cm2)	f(kg/ cm3)	T (cm)	Mpmax (kgcm)	Fm	L (cm)	Xt	Yt	S (cm)	Xs	Ys	Xn(jum lah asumsi)	Yn	Xd	Yd	FKg	Pmax (kg)	Mr (kNm)	Md (kNm)	Δ Mr (kNm)	Pt (kN)	n (jumlah cerucuk)
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	0	1.051	0.1719	2.6604	7.5929	15228	1166.8	1087.46	464.344	86.631	0.568912
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	1	1.004	0.1719	2.6604	7.254	14548	1166.8	1087.46	464.344	86.631	0.595496
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	2	0.957	0.1719	2.6604	6.915	13868	1166.8	1087.46	464.344	86.631	0.624686
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	3	0.91	0.1719	2.6604	6.576	13188	1166.8	1087.46	464.344	86.631	0.656884
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	4	0.863	0.1719	2.6604	6.2371	12508	1166.8	1087.46	464.344	86.631	0.692583
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	5	0.816	0.1719	2.6604	5.8981	11829	1166.8	1087.46	464.344	86.631	0.732385
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	6	0.769	0.1719	2.6604	5.5592	11149	1166.8	1087.46	464.344	86.631	0.77704
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	7	0.722	0.1719	2.6604	5.2202	10469	1166.8	1087.46	464.344	86.631	0.827494
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	8	0.675	0.1719	2.6604	4.8813	9789.3	1166.8	1087.46	464.344	86.631	0.884956
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	9	0.629	0.1719	2.6604	4.5423	9109.6	1166.8	1087.46	464.344	86.631	0.950993
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.5	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.33	0.8326	10	0.582	0.1719	2.6604	4.2034	8429.8	1166.8	1087.46	464.344	86.631	1.027681

5Fex	1.066	R (m)	5.89																						
fc (kg/cm2)	E	l (cm4)	cu(kg/cm2)	qu(kg/cm2)	f(kg/cm3)	T (cm)	Mpmax (kgcm)	Fm	L (cm)	Xt	Yt	S (cm)	Xs	Ys	Xn(jumlah ah asumsi)	Yn	Xd	Yd	FKg	Pmax (kg)	M <sub>r</sub> (kNm)	Md (kNm)	Δ Mr (kNm)	Pt (kN)	n (jumlah cerucuk)
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	0	1.051	0.1719	2.6604	7.593	15227.5	1149.4	1078.26	467.9627	79.45038	0.521755
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	1	1.004	0.1719	2.6604	7.254	14547.8	1149.4	1078.26	467.9627	79.45038	0.546135
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	2	0.957	0.1719	2.6604	6.915	13868	1149.4	1078.26	467.9627	79.45038	0.572905
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	3	0.91	0.1719	2.6604	6.576	13188.2	1149.4	1078.26	467.9627	79.45038	0.602435
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	4	0.863	0.1719	2.6604	6.237	12508.4	1149.4	1078.26	467.9627	79.45038	0.635175
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	5	0.816	0.1719	2.6604	5.898	11828.7	1149.4	1078.26	467.9627	79.45038	0.671677
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	6	0.769	0.1719	2.6604	5.559	11148.9	1149.4	1078.26	467.9627	79.45038	0.712631
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	7	0.722	0.1719	2.6604	5.221	10469.1	1149.4	1078.26	467.9627	79.45038	0.758903
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	8	0.675	0.1719	2.6604	4.881	9789.33	1149.4	1078.26	467.9627	79.45038	0.811602
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	9	0.629	0.1719	2.6604	4.542	9109.56	1149.4	1078.26	467.9627	79.45038	0.872165
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	10	0.582	0.1719	2.6604	4.203	8429.78	1149.4	1078.26	467.9627	79.45038	0.942496





SFex	1.175	R (m)	6.9																						
fc (kg/c m2)	E	l (cm4)	cu(kg /cm2)	qu(kg /cm2)	f(kg/ cm3)	T (cm)	Mpmax (kgcm)	Fm	L (cm)	Xt	Yt	S (cm)	Xs	Ys	Xn(juml ah asumsi)	Yn	Xd	Yd	FKg	Pmax (kg)	Mr (kNm)	Md (kNm)	Δ Mr (kNm)	Pt (kN)	n (jumlah cerucuk)
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	0	1.051	0.1719	2.6604	7.593	15227.5	1318.6	1122.21	364.7191	52.85785	0.34712
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	1	1.004	0.1719	2.6604	7.254	14547.8	1318.6	1122.21	364.7191	52.85785	0.36334
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	2	0.957	0.1719	2.6604	6.915	13868	1318.6	1122.21	364.7191	52.85785	0.38115
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	3	0.91	0.1719	2.6604	6.576	13188.2	1318.6	1122.21	364.7191	52.85785	0.400796
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	4	0.863	0.1719	2.6604	6.237	12508.4	1318.6	1122.21	364.7191	52.85785	0.422578
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	5	0.816	0.1719	2.6604	5.898	11828.7	1318.6	1122.21	364.7191	52.85785	0.446863
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	6	0.769	0.1719	2.6604	5.559	11148.9	1318.6	1122.21	364.7191	52.85785	0.474109
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	7	0.722	0.1719	2.6604	5.22	10469.1	1318.6	1122.21	364.7191	52.85785	0.504894
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	8	0.675	0.1719	2.6604	4.881	9789.33	1318.6	1122.21	364.7191	52.85785	0.539954
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	9	0.629	0.1719	2.6604	4.542	9109.56	1318.6	1122.21	364.7191	52.85785	0.580246
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	10	0.582	0.1719	2.6604	4.203	8429.78	1318.6	1122.21	364.7191	52.85785	0.627037
SFex	1.183	R (m)	6.4																						
fc (kg/c m2)	E	l (cm4)	cu(kg /cm2)	qu(kg /cm2)	f(kg/ cm3)	T (cm)	Mpmax (kgcm)	Fm	L (cm)	Xt	Yt	S (cm)	Xs	Ys	Xn(juml ah asumsi)	Yn	Xd	Yd	FKg	Pmax (kg)	Mr (kNm)	Md (kNm)	Δ Mr (kNm)	Pt (kN)	n (jumlah cerucuk)
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	0	1.051	0.1719	2.6604	7.593	15227.5	1271.9	1075.15	340.8219	53.25342	0.349718
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	1	1.004	0.1719	2.6604	7.254	14547.8	1271.9	1075.15	340.8219	53.25342	0.366059
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	2	0.957	0.1719	2.6604	6.915	13868	1271.9	1075.15	340.8219	53.25342	0.384003
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	3	0.91	0.1719	2.6604	6.576	13188.2	1271.9	1075.15	340.8219	53.25342	0.403796
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	4	0.863	0.1719	2.6604	6.237	12508.4	1271.9	1075.15	340.8219	53.25342	0.42574
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	5	0.816	0.1719	2.6604	5.898	11828.7	1271.9	1075.15	340.8219	53.25342	0.450207
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	6	0.769	0.1719	2.6604	5.559	11148.9	1271.9	1075.15	340.8219	53.25342	0.477657
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	7	0.722	0.1719	2.6604	5.22	10469.1	1271.9	1075.15	340.8219	53.25342	0.508672
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	8	0.675	0.1719	2.6604	4.881	9789.33	1271.9	1075.15	340.8219	53.25342	0.543994
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	9	0.629	0.1719	2.6604	4.542	9109.56	1271.9	1075.15	340.8219	53.25342	0.584588
600	115126.02	18000	0.13	0.26	0.01	174.52	350000	1	550	18.33	1.3	100	3.333	0.8326	10	0.582	0.1719	2.6604	4.203	8429.78	1271.9	1075.15	340.8219	53.25342	0.631729

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Yudha Pratama Narra Putra. Lahir di Semarang Jawa Tengah pada tanggal 22 Maret 1995. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Kartika 22 Semarang, SD Negeri 01 Salatiga, SMP Negeri 1 Salatiga, dan SMA Negeri 1 Salatiga. Setelah lulus dari SMA Negeri 1 Salatiga, penulis diterima di Jurusan Teknik Sipil FTSP-Institut Teknologi

Sepuluh Nopember Surabaya lewat jalur SNMPTN Undangan pada tahun 2013.

Di Jurusan Teknik Sipil, penulis mengambil judul Tugas Akhir di bidang Geoteknik. Selama masa perkuliahan penulis aktif di organisasi bidang kemahasiswaan dan ormawa. Penulis aktif pada UKM(Unit Kegiatan Mahasiswa) IBC (ITS Badminton Club) pada tahun pertama. Pada tahun kedua penulis menjadi ketua IKANMASS (Ikatan Mahasiswa Salatiga se-Surabaya) dan juga penulis menjadi pengurus BEM FTSP ITS sebagai staf departemen Seni dan Olahraga (SO). Penulis juga sering mengikuti kepanitian kelas nasional seperti menjadi panitia pada ASTEC ITS OPEN pada tahun 2013. Penulis dapat dihubungi melalui *email* [yudhanarraputra@gmail.com](mailto:yudhanarraputra@gmail.com) .